

地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS)
防災分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」領域

「フィリピン地震火山監視能力強化と
防災情報の利活用推進プロジェクト」
(相手国:フィリピン共和国)

終了報告書

期間 平成21年6月～平成27年3月

代表者氏名:井上公

防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域
災害リスク研究ユニット、総括主任研究員

§ 1 プロジェクト実施の概要

我が国と同様に地震・火山災害の多発するフィリピンにおいて、我が国の過去の ODA によって整備された地震・火山観測システムを活用し、高精度の地震観測と即時震度観測による迅速で正確な震源情報の発信と被害推定への活用、地殻変動観測と地質地形調査による大地震の発生ポテンシャル評価、タール火山とマヨン火山の地震・空振・GPS・電磁気総合観測による火山活動監視、庶民住宅の簡易耐震診断手法の開発、津波防災教材製作、それらの情報発信のための防災情報ポータルサイトの構築を実施した。リアルタイム地震・津波・火山監視情報はフィリピン火山地震研究所の監視業務に活用されている。これらの情報の利活用を促進し、フィリピン国の防災力の向上に貢献した。

高度即時震源解析グループは、まずフィリピン全土の既存テレメータ地震観測点のうちの10か所に広帯域地震計と強震計を整備した。防災科学技術研究所の開発した SWIFT 震源解析システムを導入し、中規模以上の地震の震源メカニズムを定常的に解析して震源メカニズムデータベースを構築した。また 2012 年 2 月ネグロス島地震(M6.7)、2012 年 8 月サマル東方沖地震(Mw7.6)、2013 年 10 月ボホール地震(M7.2)の詳細な解析を行った。サマル東方沖地震では津波情報の精度向上に寄与した。PHIVOLCS の開発した地震被害アセスメントシステム REDAS に 震源情報を入力するシステムを開発し、迅速な被害推定システムの構築に貢献した。

震度速報システム開発グループは、震度計測のために十分な精度でかつ比較的安価なデジタル加速度計(IT 強震計)とインターネットを用いたリアルタイム震度観測システムを開発した。これをフィリピン全土に展開された PHIVOLCS の30か所の地震観測所、および選ばれた自治体庁舎数十か所の、合計 100 か所を目標として整備した。現在システムの改良を行いつつ、リアルタイム震度情報ネットワークとして運用している。

東日本大震災の発生を受け、フィリピンでは遅れている近地津波警報システムの早期導入を目的として、潮位観測システムの開発および津波シミュレーションデータベースの作成を行った。潮位計はマニラ湾をはじめとする5地域を目標とし、低電力でかつ災害時でも輻輳のない新たな無線テレメータシステムを用いて構築した。データは最寄りの地震観測所で中継され、インターネットでマニラでモニターされている。また、気象庁の専門家の指導で、津波計算データベースが完成し、震源情報に基づく検索システムも完成した。

地震発生ポテンシャル評価グループは、ミンダナオ島の地震ハザード評価を最終目的とし、プレート境界およびフィリピン断層における固着域分布の解明を目標として、GPS 地殻変動観測を行った。ミンダナオ東部の15か所において、年に1回、合計5回のキャンペーン観測を行い、水平変位速度場を求めた。またミンダナオ島の北部3か所において GPS 連続観測を行った。キャンペーンおよび連続 GPS 観測から得られたミンダナオ島の変動パターンは、日本列島のそれとは大きく異なるものであり、沈み込み帯における変動の多様性を示すものであることがわかった。

一方地質・地形調査グループは、ミンダナオ島東部においてフィリピン断層のトレンチ掘削調査等を行い、500-1000 年の再来周期と 7.1-7.4 の最大マグニチュードの値を得た。また、レイテ島とマスバタ島のフィリピン断層でクリープの精密測定を行い、断層変位のかなりの部分がクリープで賄われていることを明らかにした。また、ミンダナオ島のフィリピン断層以外の活断層を明らかにするために、空中写真判読による活断層図の作成を行った。そのほかラガイ湾およびネグロス島地震震源域における海底地層探査、ボホール地震の震源断層地形やパミラカン島の隆起サンゴ礁の UAV 写真測量を実施した。

リアルタイム総合火山観測グループは、タール火山に広帯域地震計・空振計・GPS 受信機・電磁気観測装置からなる総合観測網を設置し、データを衛星テレメータで伝送し、マニラの PHIVOLCS 本部ですべて監視できる体制を構築した。これらのデータを解析し、低周波地震の発生メカニズム、火山島東側の S 波減衰域および低比抵抗領域の存在、同地域の噴火被害リスクの高さなどを推定した。またマヨン火山にも電磁気を除く同様の総合観測網を展開し、得られたデータの解釈から、水蒸気爆発の発生メカニズムの考察を行った。タール火山とマヨン火山の総合観測データはリアルタイムで PHIVOLCS 本部に伝送され、定常的な監視にすでに活用されている。さらにリアルタイム

ムデータの比較表示をウェブにより閲覧できるシステムを構築し、これらの火山における噴火の前兆現象をよりの確に捉えることを可能とした。

耐震診断グループは、地震発生ポテンシャルが比較的高いと判断される地域における将来の地震被害軽減を目的として、庶民住宅の耐震化を支援するために、簡易耐震診断ツール「我が家の耐震診断」と「簡易耐震診断ソフトウェア」を開発した。これらのツールは、2013年10月のボホール地震の被害に適用して信頼性を確かめた。フィリピン構造技術者協会の協力を得て、ツールの改良と普及を実施した。政府系および民間のエンジニアに普及させることを目的としたワークショップを複数回開催し、工学的配慮のない「ノンエンジニアド建築」に対して、エンジニアとの接点を持たせることができた。

2011年3月11日の東日本大震災の発生を受け、東北3県に在住する53名のフィリピン人の津波被災者にタガログ語によるビデオインタビューを行った。そのうち4名の体験談をタガログ語のマンガとして出版し、フィリピンにおける津波防災教育に活用した。

当プロジェクトで新たに得られるようになったリアルタイム地震・津波・火山観測情報や地震発生ポテンシャル評価研究の成果、耐震診断ツール、津波防災教育素材等を集めた、ポータルサイトを PHIVOLCS のホームページの中に制作して運用を開始した。今後セミナー等を通じて、情報の活用・普及に努める。

§ 2. プロジェクト構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初のプロジェクト構想

フィリピン全国に展開された衛星テレメーター地震観測点のうち10か所に広帯域地震計と強震計を整備した。SWIFT 震源解析システムを導入し、大地震のマグニチュードと震源メカニズムを迅速に正しく決定できるようにする。将来全国規模の高密度観測を可能とする途上国向け震度速報システムを開発して、その有効性を確かめるための試験観測を行う。ミンダナオ島を中心とするGPS 地殻変動観測によるフィリピン断層の各セグメントの歪み分布と海溝におけるプレート間の固着度推定および地質学的手法による古地震の調査を実施し、将来の大地震の発生ポテンシャルを明らかにし、想定シナリオ地震による地震動推定と被害推定を行うことが初期の構想であった。そのうちフィリピン断層に関しては概ね構想計画が達成された。しかし、海溝におけるプレート間の固着度推定には至らなかった。西南日本よりはるかに複雑なミンダナオ島のテクトニクスを考慮して、固着域を推定するためには、特に治安状況の悪い西部ミンダナオ地域に多数のGPS 観測点を展開する必要がある。タール火山・マヨン火山を対象として、従来の短周期地震計に加えて広帯域地震計・傾斜計・GPS・磁力計・空振計を付加し、データをモニタの PHIVOLCS 本部までテレメタして、リアルタイム火山監視能力を強化するとともに、地下のマグマの蓄積過程と噴火機構の解明を進める。これらの監視能力強化によって予警報の迅速化・正確化を図るとともに、地震・火山ポータルサイトを構築してそれらの情報を一元化して発信する。続いて国の防災関係機関や地方自治体、地域住民を対象として、ポータルサイトの情報が防災対策に有効に活用されることを目的として、地震火山情報利活用セミナーを開催する。

(2) 新たに追加・修正など変更したプロジェクト構想

火山性地震の新たな解析手法の導入

高周波地震波振幅を用いた震源決定手法に関して、初動走時から決定した震源位置の違いが見つかったことで、減衰構造の不均質性を考慮できるように手法の改良が進んだ。その結果、タール火山にS波の強い減衰領域が推定されるなど、この手法が震源位置の推定だけでなく、非弾性構造の推定にも役立つことが示された。

火山GPS観測システムのブルサン火山への導入

PHIVOLCS は2013年にブルサン火山に3カ所、2014年にはタール火山に3カ所のGPS観測点を新設し、2010年度に当課題で導入したリアルタイム解析システムにて、データ処理を開始した。

PHIVOLCS の火山監視能力が確実に向上した。

GPS 連続観測のオンライン化

ミンダナオ島に設置された3カ所の GPSs 連続観測点すべてでインターネット接続によるオンラインデータ回収が開始された。フィリピンにおける「地殻変動の即時検出⇒地震の規模の即時推定」の重要な第一歩となった。このことは、将来的には、超巨大地震による津波に対する警報の信頼性・迅速性の改善にも役立てられる可能性がある。

小型 UAV(無人機)による写真測量手法の導入と活用

UAV を利用してボホール地震の断層地形調査を行った。UAV 写真測量は、空中レーザー計測と同等の精度を有し、費用対効果の点で優位である。UAV はそのほか、小縮尺の地形図の無いフィリピンにおける活断層図作成、津波ハザード評価、災害時緊急調査や火山観測などにも有効であり、本課題で UAV 本格導入の足掛かりを付けることができた。

音波探査装置による海底地層調査

PHIVOLCS に音波探査装置が供与された。これは、海底活断層や海底地滑り地形のマッピングに非常に有効であり、ボホール地震の海底活断層調査にも利用されるなど、PHIVOLCS の津波発生ポテンシャル評価能力向上に生かされつつある。

国費留学生

東海大学で火山電磁気学の博士課程の学生を受け入れ、学位を授与した。今後のフィリピンにおける電磁気学的な火山監視における人材育成がなされた。

可搬型磁力計の導入

タール火山の火山島全域の磁気測量を定期的に繰り返し実施する事が可能となった。これにより面的な異常の時間変化を推定する事が可能となり、マグマの上昇等に関する新たな知見を得る事が可能になった。

振動台倒壊実験

フィリピン型コンクリートブロック組積造住宅の振動台倒壊実験を行うことができた。実験の結果は簡易耐震診断法に反映されるとともに、得られたビデオ映像を住民の地震防災意識向上に大きく貢献した。

東日本大震災フィリピン人津波被災者インタビュー

東日本大震災の発生に伴い、東北三県のフィリピン人津波被災者 53 名にインタビューを行い、体験談の漫画と DVD の製作を行い、フィリピンにおける防災教育ツールとして活用した。

(3)活動実施スケジュール(実績)

黒線が当初計画、赤線が現在の状況

方針変更、追加項目は赤字で記載



項目	H21年度 FY2009 (10ヶ月)	H22年度 FY2010	H23年度 FY2011	H24年度 FY2012	H25年度 FY2013	H26年度 FY2014 (10.7ヵ月)
1. 高度即時震源解析と震度速報						
1.1 高度即時震源解析						
・準備研究						
・広帯域地震観測網の整備						
・高度震源解析						
1.2 震度速報システムの開発						
・準備研究						
・第一世代試験観測網						
・第二世代試験観測網						
1.3 津波情報の高度化						
・低電力無線潮位観測						
・津波計算データベース						
2. 地震発生ポテンシャル評価						
2-1. GPS地殻変動観測						
・準備研究						
・GPSキャンペーン観測						
・GPS連続観測						
2-2. 地形・地質学的古地震調査						
・再来期間の推定						
・震源推定とポテンシャル評価						
3. リアルタイム総合火山監視						
3-1. 火山地震・空振観測						
・準備研究						
・機器設置						
・データ伝送および解析						
3-2. 火山GPS観測						
・準備研究						
・機器設置						
・データ伝送および解析						
3-3. 火山電磁気観測						
・通信・解析ソフトウェア開発						
・タール火山電磁気構造調査						
・警報発令システム開発						
4. 防災情報の発信と利活用推進						
・準備研究						
・情報ポータルサイトの構築						
・REDASの即時化・強化						
・簡易耐震診断・意識向上ツール						
・防災情報活用セミナー						

§3 プロジェクト実施体制

(1) 地震・津波防災グループ

① 研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	井上 公	防災科学技術研究所	総括主任研究員	2009.6～2015.3
	Nelson Pulido	防災科学技術研究所	主任研究員	2010.4～2015.3
	五十嵐 陽子	気象庁	係長	2012.4～2015.3
	今井 弘	防災科学技術研究所	契約研究員(技術員型)	2010.9～2015.3
	上野 俊洋	気象庁	津波調査係	2013.7～2015.3
	臼田 裕一郎	防災科学技術研究所	主任研究員	2009.6～2015.3
	岡崎 健二	政策研究大学院大学	教授	2010.9～2015.3
	川井 淳	宇宙航空研究開発機構	開発員	2010.9～2015.3
	楠 浩一	横浜国立大学	准教授	2010.9～2015.3
	小泉 岳司	気象庁	調整官	2012.3～2015.3
	小町 健一	宇宙航空研究開発機構	開発員	2012.9～2015.3
	佐久間 順三	(有)設計工房佐久間	建築士	2010.9～2015.3
	中田 健嗣	気象庁	係長	2012.4～2015.3
	中谷 朱希	三重大学	修士課程	2011.4～2013.3
	檜府 龍雄	国際協力機構	国際協力専門員	2010.2～2013.3
	西村 彰敏	耐震研究事務所	工学博士	2011.4～2015.3
	花里 紗知穂	三重大学	修士課程	2011.4～2013.3
	花里 利一	三重大学	教授	2011.4～2015.3
	加来 一哉	宇宙航空研究開発機構	計画マネージャ	2010.9～2015.3
	根岸 弘明	防災科学技術研究所	主任研究員	2009.6～2013.9
	堀内 茂木	防災科学技術研究所	研究参事	2009.6～2011.3
	箕輪 親宏	防災科学技術研究所	客員研究員	2009.6～2013.3
	林 能成	関西大学	准教授	2009.6～2015.3
	范 正英	防災科学技術研究所	短時間契約研究員(技術員型)	2012.4～2015.3

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	A.G. Lanuza	PHIVOLCS	Specialist	2009.8～2015.3
	Allan Rommel R. Labayog	PHIVOLCS, Zamboanga City Seismic Station	Science Research Analyst	2010.11～2015.3
	Angela G. Montes	PHIVOLCS, GDAPD	Science Research Specialist II	2010.11～2015.3
	Angelito G. Lanuza	PHIVOLCS, SOEPD	Senior Science Research Specialist	2010.12～2015.3
	Arnaldo A. Melosantos	PHIVOLCS, SOEPD	Senior Science Research Specialist	2009.8～2015.3
○	B.C.Bautista Bartolome	PHIVOLCS	Deputy Director	2009.8～2015.3
	B.T.Punongbayan	PHIVOLCS	Specialist	2009.8～2015.3
	Charmaine V. Villamil	PHIVOLCS, GDAPD	Science Research Specialist II	2010.12～2015.3
	Delfin C. Garcia	PHIVOLCS, FAD	Planning Officer IV and Officer-in-Charge	2010.12～2015.3
	Desiderio P. Cabanlit	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
	Eleazar F. Jorgio	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11～2015.3
	Eloiza Monique R.Realís	PHIVOLCS, GDAPD		2010.11～2015.3
	Erlinton Antonio B. Olavere	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
	Ester B. Garrido	PHIVOLCS, GDAPD	Science Research Specialist II	2010.12～2015.3
	Florenette Garcia	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist II	2010.11～2015.3
	Henremagne Penarubia	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
	I.C.Narag	PHIVOLCS	Officer in charge	2009.8～2015.3
○	Ishamael C. Narag	PHIVOLCS, SOEPD	Supervising Science Research Specialist	2010.12～2015.3
	Janila B. Deocampo	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist II	2010.11～2015.3
	Joan C. Salcedo	PHIVOLCS, GDAPD	Science Research Specialist II	2010.11～2015.3
	John Paul Fallarne	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11～2015.3
	Jose Pantig	PHIVOLCS	Science Research Specialist I	2010.11～2013.3
	Karl Vincent Soriano	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11～2015.3
	L.P. Bautista	PHIVOLCS	Scientist	2009.8～2015.3
	Leni Elena R. Torrevillas	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11～2015.3

	Lucille Rose C. Del Monte	PHIVOLCS, GDAPD	Information Officer I	2010.12~2015.3
	M.M.Villegas	PHIVOLCS	Division Chief	2009.8~2015.3
	M.P. Lasala	PHIVOLCS	Specialist	2010.8~2015.3
	M.S. Firueroa II	PHIVOLCS	Specialist	2009.8~2015.3
	Ma. Leonila P. Bautista	PHIVOLCS, DOST	Associate Scientist	2010.12~2015.3
○	Ma. Mylene M. Villegas	PHIVOLCS, GDAPD	Chief Science Research Specialist	2010.12~2015.3
	Magdalino C. Abrahan	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11~2015.3
	Melcario D. Pagtalunan	PHIVOLCS, GDAPD	Senior Science Research Specialist and Section Head of Exhibit and Audio Visual Documentation	2010.11~2015.3
	Melchor P. Lasala	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.12~2015.3
	Melquiades F. Figueroa	PHIVOLCS	IT Officer I	2010.12~2015.3
	Milo S. Tabigue	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11~2015.3
	Myleen C. Enriquez	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11~2015.3
	Narciso F. Diongzon	PHIVOLCS, FAD	Planning Officer II	2010.11~2015.3
	Nemesion M. Canete	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11~2015.3
	Nolan Evangelista	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11~2015.3
	Ponzch Coleen Alcones	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Assistant	2010.11~2015.3
	Ramil Atando	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11~2015.3
◎	Renato U, Solidum, Jr.	PHIVOLCS	Director	2010.12~2015.3
	Rey Lumbang	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11~2015.3
	Richel B. De Mesa	PHIVOLCS, FAD	Planning Officer I	2010.11~2015.3
	Roberto B. Tigllao	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Specialist I	2010.11~2015.3
	Robinson Jorgio	PHIVOLCS, Lapulapu City Seismic Satation	Science Research Specialist I	2010.11~2015.3
	Ronald R. Dela Cruz	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11~2015.3
	Vilma C.	PHIVOLCS,	Science Research	2010.11~2015.3

	Hernanoez	SOEPD	Analyst	
	Wilmer Legaspi	PHIVOLCS, SOEPD	Science Research Analyst	2010.11～2015.3
	Miriam L. Tamayo	ASEP	Structural Engineer	2014.4～2015.3
	Ronald S.Ison	ASEP	Structural Engineer	2014.4～2015.3

② 研究項目

- ・高度即時震源解析
- ・震度速報システムの開発
- ・津波情報の高度化
- ・防災情報の発信と利活用推進

(2) 地殻変動グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	大倉 敬宏	京都大学	教授	2009.6～2015.3
	Endra Gunawan	名古屋大学	博士課程	2010.6～2014.3
	Hanifa Rahma	名古屋大学	博士課程	2010.6～2012.3
	安藤 忍	気象研究所	主任研究官	2010.3～2011.9
	伊藤 武男	名古屋大学	助教	2012.4～2015.3
	鬼澤 真也	気象研究所	研究官	2011.2～2013.3
	小林 知勝	国土地理院	研究官	2012.7～2014.3
	塩谷 俊治	国土地理院	調査専門職	2010.4～2015.3
	鈴木 啓	国土地理院	調査係長	2011.4～2013.3
	藤原 健治	気象庁	火山監視・情報 センター 火山 機動観測班長	2012.4～2015.3
	高木朗充	気象研究所	主任研究官	2011.10～2015.3
	堤 浩之	京都大学	准教授	2009.6～2015.3
	中田 高	広島大学	名誉教授	2012.4～2015.3
	中村 保彦	高知大学	修士課程	2013.1～2014.3
	西村 卓也	国土地理院	主任研究官	2011.3～2013.3
	福井 敬一	気象研究所	主任研究官	2011.2～2011.3
	町田 守人	国土地理院	調査係長	2010.4～2011.3
	山中 雅之	国土地理院	調査係長	2013.4～2015.3
	山本 哲也	気象研究所	室長	2011.4～2015.3
	安田 大剛	京都大学	修士課程	2012.4～2014.3
	今給黎 哲郎	国土地理院	センター長	2009.6～2015.3
	松村 祥央	名古屋大学	修士課程	2010.6～2011.3
	水藤 尚	国土地理院	主任研究官	2012.1～2015.3
	川元 智司	国土地理院	調査員	2014.2～2015.3
	田部井 隆雄	高知大学	教授	2009.6～2015.3
	飛田 幹男	国土地理院	地理地殻活動 総括研究官	2013.4～2015.3

	本田 昌樹	国土地理院	情報管理係長	2013.9～2015.3
	木股 文昭	東濃地震科学研究所	副首席主任研究員	2009.6～2015.3

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	Agnes R.Aguilar	PHIVOLCS	Supervising Science Research Specialist	2010.12～2013.10
	Alfie Pelicano	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
	Artemio C. Luis Jr.	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
○	Arturo S. Daag	PHIVOLCS, GGRDD	Chief Science Research Specialist	2010.11～2015.3
	Eduardo Laguerta	PHIVOLCS, VMEPD	Resident Volcanologist and Supervising Science Research Specialist	2010.12～2015.3
	Jeffrey S. Perez	PHIVOLCS, GDAP	Supervising Science Research Specialist	2009.8～2015.3
	M.T.Cahulogan	PHIVOLCS	Specialist	2009.8～2015.3
	Ma Lynn P. Melosantos	PHIVOLCS, GGRDD	Senior Science Research Specialist	2010.11～2015.3
	Mabelline T. Cahulogan	PHIVOLCS, GGRDD	Science Research Specialist I	2010.12～2015.3
	P.J.Delos Retes	PHIVOLCS	Officer in charge	2009.8～2015.3
	Perla J. Delos Reyes	PHIVOLCS, GGRDD	Supervising Science Research Specialist	2010.12～2015.3
	T.C.Bacolcolo	PHIVOLCS	Scientist	2009.8～2015.3
	Teresito C. Bacolcol	PHIVOLCS, DOST	Associate Scientist	2009.12～2015.3

② 研究項目

- ・GPS 観測
- ・地形学的・古地震学的調査
- ・防災情報の発信と利活用推進

(3) 火山地震グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	熊谷 博之	名古屋大学	教授	2009.6～2015.3
	酒井 孝英	名古屋大学	M2	2014.4～2015.3
	前田 裕太	名古屋大学	助教	2010.9～2015.3
	山品 匡史	高知大学	技術員	2009.6～2015.3
	中野 優	海洋研究開発機構	技術研究副主任	2009.6～2015.3

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	Allan R. Loza	PHIVOLCS, Taal Volcano Observatory	Resident Volcanologist and Supervising Science Research Specialist I	2010.12～2015.3
	Baby Jane S. Punongbayan	PHIVOLCS, SOEPD	Supervising Science Research Specialist	2010.12～2015.3
	Esfeca T. Del Mundo	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist II	2010.12～2015.3
	Jaime S. Sincioco	PHIVOLCS	OIC	2010.12～2013.7
	Ma. Antonia V. Bornas	PHIVOLCS, VMEPD	Chief Science Research Specialist	2010.11～2015.3
	Maricel L. Capa	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist I	2010.11～2015.3
	Rudy Lacson, Jr.	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist II	2010.12～2015.3
	Teodorico Sandoval	PHIVOLCS	Science Research Specialist II	2010.11～2013.2

② 研究項目

- ・高度即時震源解析
- ・火山地震空振観測
- ・火山 GPS 観測
- ・防災情報の発信と利活用推進

(4) 火山電磁気グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	長尾 年恭	東海大学	教授	2009.6～2015.3
	王生 透	黒部市教育委員会	主任	2011.4～2015.3
	楠本 成寿	富山大学	准教授	2009.6～2015.3
	酒井 英男	富山大学	教授	2009.6～2015.3
	笹井 洋一	東海大学	特任研究員	2009.6～2015.3
	佐柳 敬造	東海大学	准教授	2009.6～2015.3
	竹内 昭洋	東海大学	特定研究員	2009.6～2014.3
	田中 良和	京都大学	名誉教授	2009.6～2015.3
	茂木 透	北海道大学	教授	2009.6～2015.3
	山谷 祐介	北海道大学	非常勤研究員	2009.6～2014.3
	橋本 武志	北海道大学	准教授	2010.4～2015.3

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	E.P.Laguerta	PHIVOLCS	Specialist	2010.8～2015.3
	J.P.Sabit	PHIVOLCS	Specialist	2010.8～2015.3

	J.S.Sincioco	PHIVOLCS	Officer in charge	2010.8～2015.3
	Jesus Puertollano	PHIVOLCS, VMEPD	Senior Science Research Specialist II	2010.12～2015.3
	Juan Cordon, Jr.	PHIVOLCS, Taal Volcano Observatory	Science Research Specialist I	2010.12～2015.3
	Julio P.Sabit	PHIVOLCS	Supervising Science Research Specialist	2010.12～2013.7
	P.K.B.Alanin	PHIVOLCS	Specialist	2010.8～2015.3
	Paul Karson Alanis	PHIVOLCS, VMEPD	Science Research Specialist I	2010.12～2015.3
	R.A.Laespm Jr	PHIVOLCS	Specialist	2010.8～2015.3

②研究項目

- ・火山電磁気観測
- ・防災情報の発信と利活用推進

§ 4 プロジェクト実施内容及び成果

4.0 プロジェクト全体

(1)グループを統合した全体の成果

本課題で我々が PHIVOLCS に導入した、新たな機材・システム・および情報の解釈に必要な知識により、PHIVOLCS の地震・津波・火山監視能力は、プロジェクト開始前に比較して、格段に向上した。特に広帯域地震観測・リアルタイム震度観測・リアルタイム火山総合観測は、これまでフィリピンにはなかったものであり、情報に質的な変化をもたらしている。

また、当初計画にはなかった庶民住宅の振動台倒壊実験、東日本大震災の発生を受けての津波対応テーマは、防災意識向上ツールとして予定以上の成果を上げているといえる。

(2)今後期待される効果

これらの成果は、科学論文の形での成果にとどまらず、地震津波火山観測・監視インフラとして、あるいは防災教育ツールとして、すでに社会実装がなされている。また、同様の道具立ては、他の多くの開発途上国でも必要とされており、何らかの課題を形成して、成果を各国に普及することが強く望まれる。

4.1 地震津波監視

(1)研究実施内容及び成果

i) 高度即時震源解析

研究実施方法

より迅速な震源情報の把握、地震動・津波推定のために、既存の衛星テレメータ地震観測点 10 か

所に広帯域地震計と強震計を設置する。防災科研が開発した SWIFT 自動震源解析システムをフィリピン向けに調整して導入・稼働し、準リアルタイムで震源情報を把握する。PHIVOLCS の開発した REDAS システムに震源情報を入力し、震度予測・液状化予測・津波予測等を迅速に行う。定常解析によって得られる震源メカニズムを分析してフィリピンの地殻活動をより詳細に把握する。

研究の実施内容と成果

H21 年度は準備研究として、現地調査にもとづいて観測点の選定、地震計の選定、電源設計を行った。観測点は、全国をなるべく均等にカバーし、かつ基盤岩の露出したノイズの小さな場所を優先し選定した。岩盤でない観測点 3 か所は近隣への移設を検討することとなった。

H22 年度は 2010 年 11 月から 12 月にかけて、5 箇所の観測点(ビラク、パガディアン、バタラサ、ギマラス、ルバング)に広帯域地震計と強震計ならびに電源を強化するための追加のソーラーパネルとバッテリーを設置した。その後 2011 年 3 月に PHIVOLCS 本部に SWIFT 震源解析システムを導入した。

H23 年度は、下半期に整備予定の 5 観測点分の機材調達を行い、マティ(MATI)、エルニド(ENPP)、ボロンガン(BESP)の 3 観測点の整備を行った。ルソン島中部の BALP 観測点は協議により、最高品質が期待されるサンロケダムに変更することを H22 年度に決め、H23 年度中に整備予定であったが、ダム運営会社によるトンネル工事の遅れのために、H23 年度内の設置工事はできなかった。また最北の離島であるバスコ(BBPS)観測点も機材の国内輸送が遅れたために H23 年度内の設置ができなかった。データ解析に関しては SWIFT システムを PHIVOLCS に導入し、2011 年 11 月以降フィリピンで発生したマグニチュード(Mw)が概ね 5 以上の地震について手動による震源解析が行われた。2012 年 2 月 6 日に発生したネグロス沖地震(Mw 6.7)(死者 40 人以上)に関して SWIFT による解析が行われ、この地震の規模・位置・メカニズムの迅速な把握に貢献した。そのほかの地震に関しても SWIFT の解析により震源情報が求まったが、データに多くのギャップが存在する問題により、自動解析は失敗するケースが多かった。Jane Punongbayan 研究員を 7-8 月に防災科研に招へいし、SWIFT の原理と利用法に関する研修を行うとともに、SWIFT のシステム開発を行った。

H24 年度は 6 月にバスコ(BBPS)観測点、9 月にサンマニュエル(SMPP)観測点の設置が行われた。これにより予定していた 10 点の広帯域地震観測点の設置が完了した。さらに、PHIVOLCS が独自に設置した広帯域地震観測点 2 点と GFZ により公開されているインドネシアの 3 点を合わせた 15 点の広帯域地震観測点のデータが SWIFT による解析に利用可能となった(図1)。データ解析に関しては、SWIFT による自動および手動解析によるメカニズム解析が進められた。2012 年 8 月 31 日に発生したフィリピン沖地震(Mw 7.6)では自動解析によるメカニズム解が得られ、その情報が津波警報の発出に活かされた。データのギャップに関しては、データ受信システムを処理能力の高いサーバーへ変更したことにより解消された。また SWIFT プログラムの改良を行い、断層面の角度に関するグリッドサーチのアルゴリズムを改良することで、1° 刻みのサーチを短時間で行うことができるようになった。これまで 15° でサーチを行ってきたが、この改良により詳細な断層面角度のサーチが可能となった。この改良されたプログラムを用いて、フィリピン沖地震やネグロス地震などの本震および余震のメカニズムの再解析を行った。

H25 年度は SWIFT による自動および手動解析を行い、2013 年 4 月から 2014 年 3 月までに Mw が 4.4 から 7.2 の 120 を超える地震の CMT 解の決定を行った。2014 年 10 月 13 日に発生した Bohol 地震(Mw 7.2)に関しては、SWIFT により本震および余震のメカニズム推定が行われ、地震活動のモニタリングと地震発生メカニズムの理解に貢献した。また SWIFT の自動解の精度向上のための手法の開発を行うとともに、REDAS に SWIFT の震源情報を入力するためのシステム開発を行った。さらに、名古屋大学で独自に実施されている JICA 研修(Operating Management of Earthquake, Tsunami, and Volcano Eruption Observation System)に SWIFT 担当の Jun Bonita 研究員が参加し、2013 年 9 月から 6 か月間の研修期間中に、地震学の基礎を学ぶとともに、SWIFT の CMT 解と Global CMT Project (<http://www.globalcmt.org/>) の CMT 解との比較を行った。その結果、両者が良い一致を示しているとともに、SWIFT が Global CMT Project のカタログにはない小さい地震の CMT 解についても決定できていることを示した。さらに SWIFT の手動解析を行うためのウェブインターフェースを作成した。これによりインターネット環境があるところであればどこからでも SWIFT の解のチェックとアップ

データが可能となった。

H26 年度は SWIFT による自動および手動解析が系統的に進められた。SWIFT の解析が系統的に始められた 2011 年 11 月から 2015 年 3 月までに、346 の地震に対して CMT 解が求まった(図 2)。SWIFT による自動解は $M_w > 4.5$ の地震に対して発生から 12 分程度で決定が可能となった。しかしながらデータのノイズや広帯域地震計に出現する非地震性の長周期パルスの影響により、自動解が適切に求められない場合もあった。自動解に決定精度を上げるために、非地震性パルスを除去するためのアルゴリズムの開発を行い、その導入を行った。Jane Punongbayan 研究員と Jun Bonita 研究員を名古屋大学に 6 月に招へいし、JDR の特集号のための論文の執筆指導を行った。それぞれ SWIFT のオペレーションと GCMT 解との比較に関する論文を執筆し、JDR に投稿し受理された。

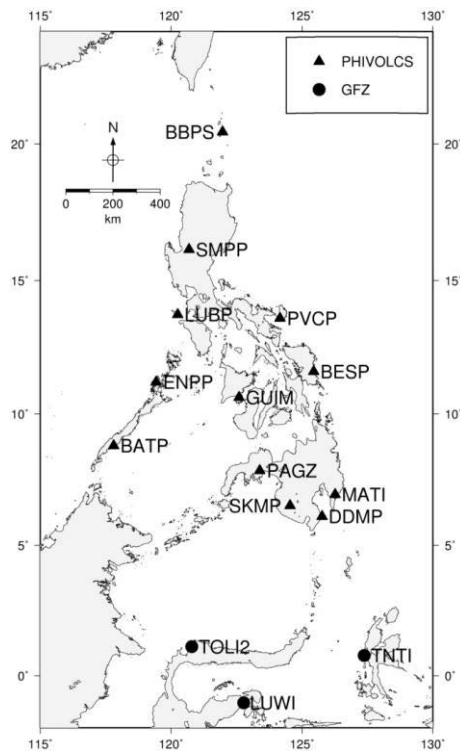


図 1 高度即時地震解析システムに用いられているフィリピンとその周辺の広帯域地震観測点の分布。

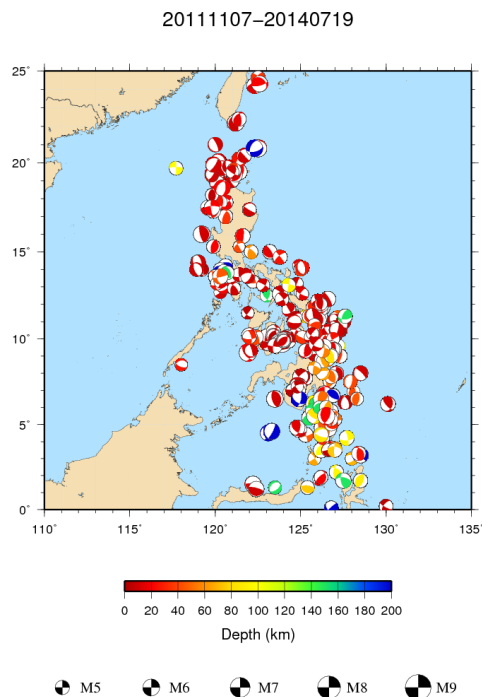


図 2 高度即時地震解析システムにより推定された地震メカニズム解。

技術移転の状況

広帯域地震計整備に関しては、日本国内の F-net の整備経験を有する研究者が地震計室の設計や断熱方法に関する指導を行った。データ解析に関しては解析担当者への現地での指導に加え、日本に招聘して研修を行った。また名古屋大学で実施されている地震津波火山観測 JICA 集団研修を活用して、技術移転を行った。

ii) 震度速報システムの開発

研究実施方法

地震動被害の即時推定と被害原因究明に必要な、高密度リアルタイム震度観測を実現するために、安価でかつ十分な分解能を有するデジタル加速度センサー(IT 強震計)と、震度表示・データ送受信装置からなるネットワーク震度計(IT 震度計)を開発し、それらを PHIVOLCS の有人観測所と地方自治体庁舎等に設置して、インターネット回線を通じてリアルタイム震度情報を収集するシステムを構築する。またこのシステムを用いた緊急地震速報の実現可能性を検討する。

研究実施内容・成果

H21 年度は準備研究として、マニラ周辺のいくつかの自治体への協力依頼、IT 強震計の室内動作確認、簡易加速度計の基本設計を行った。H22 年度は、IT 強震計と震度表示・通信ユニットの購入、周辺ハードウェア設計、震度表示・通信プログラムの試作、サーバープログラムの試作を行った。また設置場所に携帯電話基地局を活用するために携帯電話会社と協議を行った。また簡易加速度計の試作を行った。

H23 年度は、まず8月にカウンターパートを1週間招聘してシステム設置・調整方法に関する研修を行った。フィリピン側では PHIVOLCS 建物内におけるシステムの調整を行った。東日本大震災の津波被災地調査の影響で震度速報システムの整備計画は遅延した。H23 年度下半期は PHIVOLCS 構内での連続運転テストを継続しながら観測点ユニットのソフトウェア改良（水平2成分最大加速度値、最大速度値、複数宛先、波形データ保存、送信ログ保存）とサーバーソフトウェアの改良（フォルダー名変更、転送、地図範囲の変更、ほか）を行った。またタガイタイ観測点ならびに PHIVOLCS スタッフの自宅に試験的に観測システムを設置して、インターネット越しのデータ収集の実験を行った。



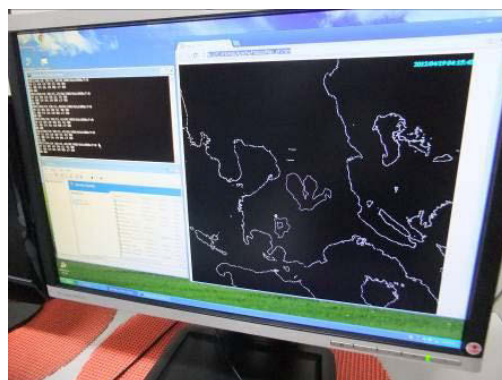
40 台の第 1 世代の IT 震度計



センサー(左)と表示通信装置(右)



タガイタイ観測所の震度計設置作業



リアルタイム PGA マップ

H24年度は改良したソフトウェアを用いてPHIVOLCSの約20か所の地震観測点で試験運用を開始した。またマニラ近郊の20の自治体に、震度計設置の希望調査・協力依頼を行った。PGV, PGA から改正メルカリ震度階(MMI)を経由してフィリピン独自の10段階震度(PEIS)を算定するための暫定式を定義し、また震度計ユニットの表示をローマ数字のPEISに切り替えた。残り60台用の新たな震度計算・表示・伝送プログラム(第2世代システム)のWindows 8 PC上での開発を開始した。

H25 年度は第1世代のシステム 10 か所を増設し合計 30 か所の有人地震観測点で運用を行った。これによりボホール地震をはじめとしていくつかの有感地震の震度情報の収集が行われた。また、第 2 世代システム(WindowsPC)の試運転を行い動作の安定性を確かめた。続いて、第2世代システムの、ルソン島の観測所職員向けの設置運用ワークショップを行い、まず PHIVOLCS の玄関ロビ

ーに設置した。その後第2世代システムを12か所の地震観測所・火山観測所と、1か所の自治体（オロンガポ市防災課）に設置した。またサーバー側のPCを整備し、震度マップ表示とデータベース化のプログラムを作成した。観測点側のプログラムをJava言語に移植した。H25年度は第2世代のシステムの設置運用トレーニングを実施した。サーバー側のプログラムをPHIVOLCS側が開発した。また、あわせて観測点側のプログラムをJava言語に移植し、将来の汎用性・移植性を高めた。

これまでに設置された震度観測網により、2012年8月のサマル東方沖地震、2013年10月のボホール地震、2014年5月のネグロス島西方沖地震等、主だった地震の全国震度分布および強震波形が記録されている。

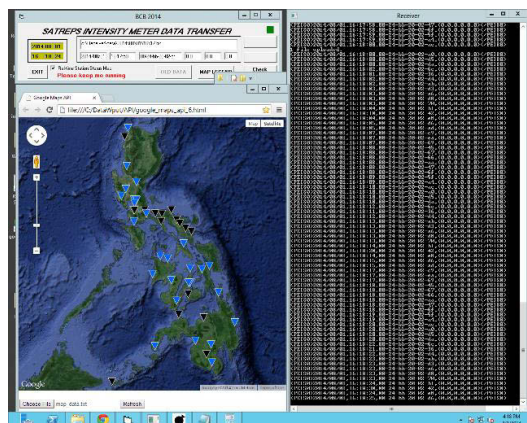
平成26年度は自治体庁舎への設置、第1世代のIT震度計40式の第2世代方式への改造、観測点側プログラムのJava言語への移植、カウンターパートへのプログラムソースの提供と解説による持続可能性の確保、ネットワーク稼働状況・データ伝送時間遅れの調査、強震波形データの公開・利活用体制の検討、インドネシアをはじめとする他の途上国への震度観測システムの展開可能性調査を実施した。



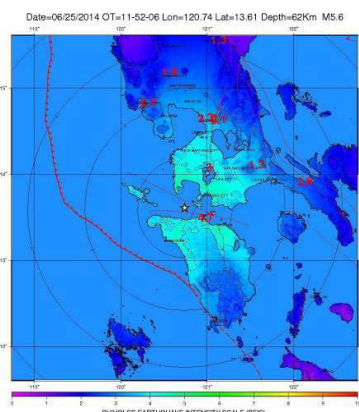
IT 震度計設置運用トレーニング



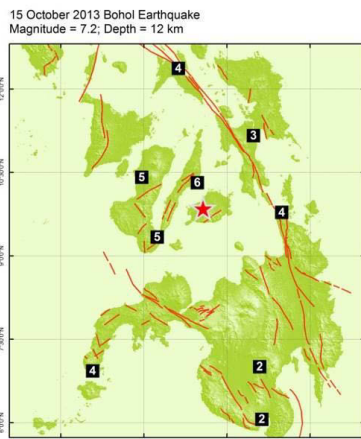
オロンガポ市防災課での震度計設置作業



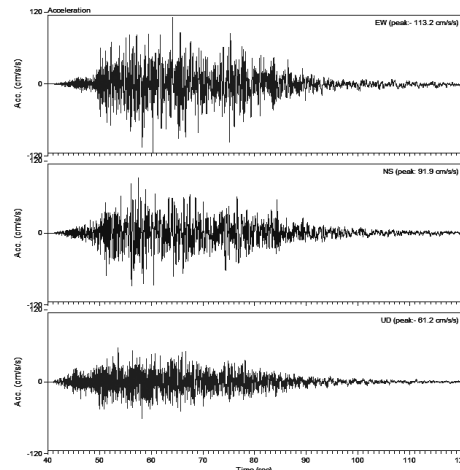
IT 震度計稼働状況および受信データモニター



REDAS による実測・推定震度表示



2013 年 10 月ボホール地震の震度



LapuLapu 観測点 (PEIS 震度 6) の加速度波形

技術移転の状況

震度観測網の整備の困難さのひとつは観測点数の多さにある。本課題では日本人研究者が試作品の組立をPHIVOLCS本部スタッフに実技指導し、次に全国各地の地方地震観測所スタッフを、地域ごとに順番にマニラに招聘して、技術を覚えたPHIVOLCS本部スタッフが、地方観測所スタッフの指導をするという2段階の技術移転方式を採用した。この方式はうまく機能し、整備が順調に進行している。

また、開発・整備したシステムをプロジェクト終了後にPHIVOLCSがメンテ・改良を継続できるように、プログラムの内容を理解させるための研修を2014年8月に行った。

iii) 津波情報の高度化

研究実施方法

フィリピンは近地津波警報システムの構築が未完である。本計画では、岬の先端等で津波をとらえて湾奥の都市にその情報を伝える津波直前情報システムのための潮位観測をいくつかの地域に設置して試験運用する。災害時でも確実にデータを伝送できる超低電力無線通信装置と、港湾施設のない場所でも潮位を測定する技術を用い、試験運用を通じて有効性を確かめる。

また本プロジェクトで整備する広帯域地震観測網による大地震の即時震源情報を元に各地の津波を迅速に推定するための津波数値計算データベースを構築する。フィリピン周辺に想定される多数の海溝型シナリオ地震に対して、迅速かつ定量的な津波予測を実現するため、津波シミュレーション結果を格納したデータベースを構築する。実際に地震が発生した場合に、その震源情報を用いてデータベースから、フィリピン沿岸各地における津波の予想される到達時刻及び予想される最大波高を迅速に得るための検索システムを構築する。これらによって整備が遅れているフィリピンの近地津波早期警報システムの構築を加速する。

研究実施内容・成果

a) 低電力無線テレメタ潮位観測

H23 年度は低電力無線テレメタ潮位観測システムの設置運用実験を次年度に開始すべく、機材購入、現地通信テストならびに国内設置運用実験を行った。水圧センサーはメテオ電子社製 M86、無線テレメタは数理設計研究所社製 MAD-SS を使用した。フィリピンでの実験場所として、マニラ湾のコレヒドール島を観測点、タガイタイ観測所を受信局、アルバイ湾のラブラブ港を観測点、レガスピの PHIVOLCS マヨン観測所を受信局とし、無線通信路試験を実施した。また現地への設置に先立ち国内設置実験をおこなった。三重県鳥羽市の伊勢湾口にある神島漁港防波堤に潮位計と

送信機を設置し、データを 45km 離れた三重大学工学部の4階建て校舎の屋上に送信した。また港湾施設のない場所での潮位計設置手法を開発すべく、茨城県神栖市の港湾技研波崎海洋実験施設において、海岸の砂中での間隙水圧測定による潮位観測を試みた。降雨や陸水の影響を避けるには汀線か水中での測定が必要ながわかった。

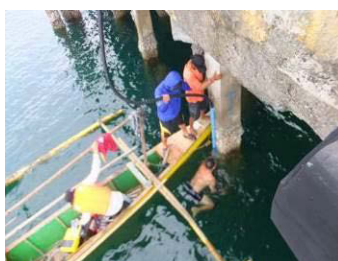


三重県神島に設置された無線潮位計と三重大工学部の受信装置および潮位記録

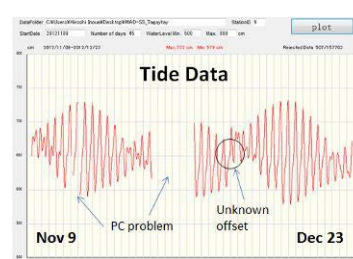
H24 年度の潮位観測は、カウンターパート2名を8月に招聘して潮位計メーカーの工場見学と、北関東から東北太平洋沿岸の潮位観測点の見学を行った。また低電力無線潮位計のセンサーの改良(海洋生物からの保護)、受信ソフトの改良(安定化)、電源の改良(太陽電池使用)、耐圧ゴムホースによる設置法の試験を行った。11 月にマニラ湾コレヒドール島に最初の潮位計を設置した。無線データを 60km 離れたタガイタイ地震観測所で受信し、インターネットで PHIVOLCS に伝送した。H25 年 3 月末現在まで 4.5 か月順調に稼働している。また次年度の観測点整備のために 12 月にサランガニ湾とダバオ湾の海岸、2月にミンダナオ島のビスリグ湾とレイテ湾の海岸、3月にルソン島北西部の海岸における地点選定を実施するとともに、GPS 送信時刻制御、138MHzVHF、防水筐体からなる改良型低電力無線潮位データ送受信装置 10 式を製作した。



コレヒドール島とタガイタイ

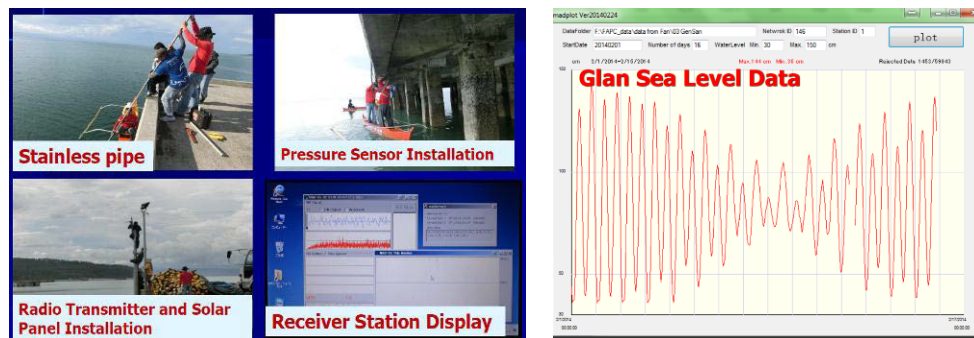


コレヒドール島潮位計設置



コレヒドール島潮位データ

H25 年度は5月に PHIVOLCS の潮位観測担当者4名を招聘し、無線潮位計の設置技術講習、浅海海底地形調査技術講習、UAV による海岸地形調査講習、東日本大震災被災地視察を行った。9月以降、サランガニ湾、ビスリグ湾への無線潮位計の新規設置、コレヒドール島の潮位計の改良、インターネット経由のマニラへのデータ伝送ソフトウェアの作成とシステムの設置、アルバイ湾の地点選定、サランガニ湾とビスリグ湾のセンサー故障修理、ビスリグ市での UAV による海岸地形・建物モデリングの実験を行った。

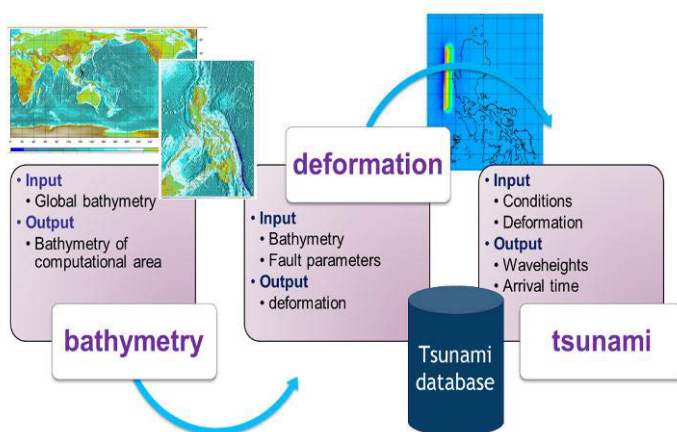


サランガニ湾グラン港の潮位計設置および潮位データ

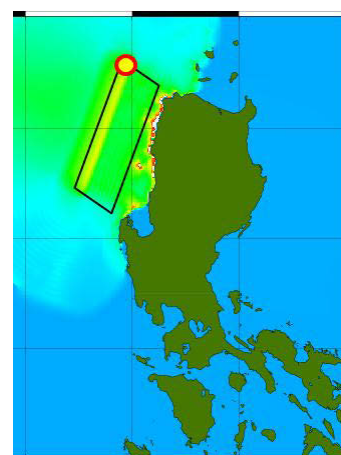
H26 年度は、未完成のアルバイ湾およびパナイ湾の観測点整備と、これまでに発生しているトラブルの原因究明と解決策の整理、潮位データ表示・アーカイブシステムの改良、天文潮位解析を計画した。しかし、アルバイ湾の設置予定場所のミシビシリゾートの埠頭施設が、2014 年 7 月の Glenda 台風で破壊されてしまい、設置は延期せざるを得なくなった。また最長無線伝送距離となるパナイ湾では、無線信号強度が不足して通信ができないことが判明した。他の観測点でも、時折信号強度不足による通信断が発生していたため、順次回収してメーカーに調査を依頼したところ、性能仕様は満たしているものの、設計よりも出力が弱いことがわかった。一方、潮位データもしばしば異常な値を示した。点検したところ水圧センサーが不良となっていたため、順次回収してメーカーに調査を依頼したところ、増幅器がダメージをうけていることが分かった。無線テレメタ装置、水圧センサーともに改造・機能強化して、再設置作業を開始した。

b) 津波データベース

H24 年度はまず津波シミュレーションデータベース作成計画を立案し、それにしたがってまずデータベース担当のカウンターパート2名を6月に気象庁に1週間招聘し日本のシステムを学ばせた。続いて 8 月に専門家2名をマニラに派遣しデータベースの製作を開始するとともにマニラ湾岸の居住地の津波脆弱性の視察、NAMRIA の潮位計視察を行った。さらに2月に建築研究所と気象庁で津波計算の指導を行った。



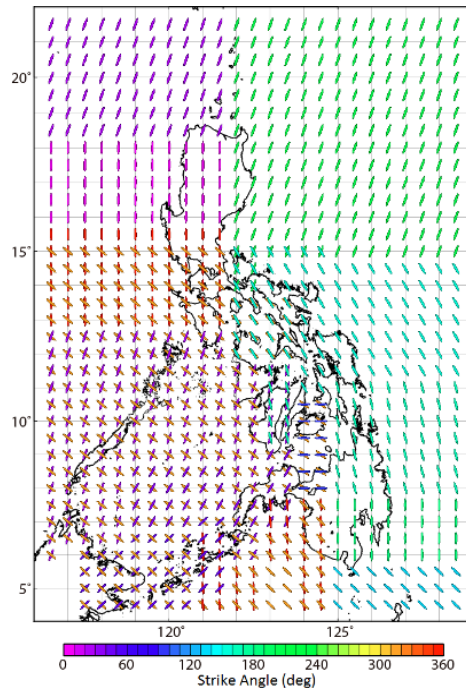
津波シミュレーションシステム



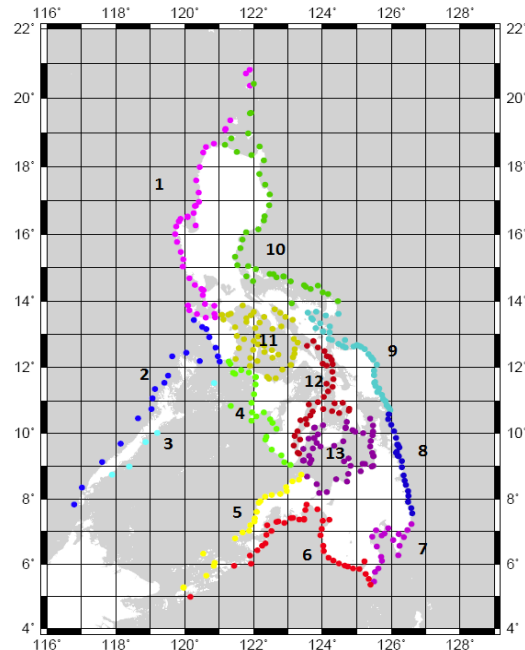
数値計算の例

H25 年度は津波データベース担当者2名を7月に気象庁に招聘し、シミュレーションとデータベ

ース構築の指導を行った。様々な位置とマグニチュードに対応する 18,135 個の想定断層を用意し、それぞれ6時間後までの津波を計算することとし、その約3分の2の計算を終了した。検索システムについては、実際の震源からある一定の距離内に位置する想定断層をすべて選び、それらの津波シミュレーション結果に、マグニチュードについて内挿処理を施した上で、沿岸の各地点における最も早い津波の到達時刻及び最も高い津波波高の予測値を抽出する仕組みとした。利便性を考え、ウェブ上で震源情報を入力して結果を得る設計とし、表示には図表形式を用いた。



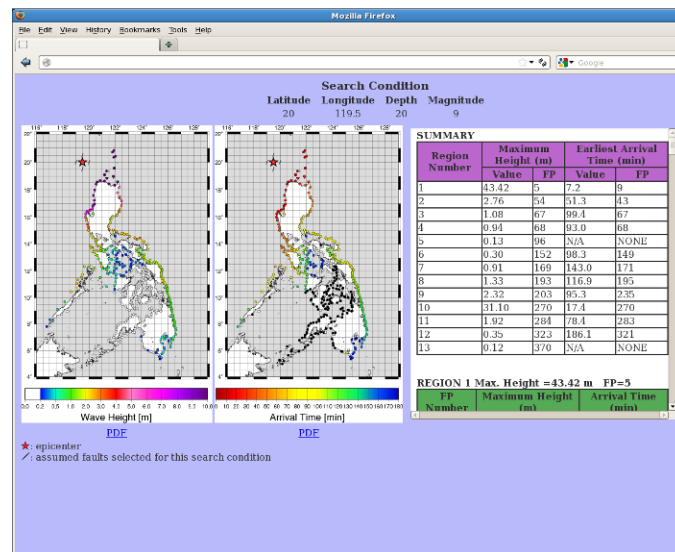
津波 DB 用震源断層配置



予測点の位置と区域分け

H26 年度は津波データベースは、最終的に緯度経度 0.5 度間隔の震源位置、5種類の震源深さ (10km, 20km, 40km, 60km, 80km)、一部地域での2種類の断層走向、5種類のマグニチュード(M6.5, M7.0, M7.5, M8.0, M8.5)、の合計 30,850 個のシナリオ震源に対する数値計算を行い、データベースを完成した。

津波 DB 検索入力画面



検索結果の表示（波高、到達時刻、各地点の予測値）

(2)研究成果の今後期待される効果

i) 高度即時震源解析

SWIFT による震源情報は PHIVOLCS の地震監視のオペレーションに活用されており、フィリピンで発生した被害地震における迅速な地震規模・メカニズム・位置の把握に貢献している。今後は津波予測システムと連動させることにより、近地の津波に対して迅速で正確な津波情報の発出に貢献することが期待される。さらに広帯域地震観測点を増設することにより、より規模の小さい地震の CMT 解析が可能となる。これは余震の監視やフィリピンにおける地震テクトニクスの理解に貢献する。

ii) 震度速報システムの開発

本課題で開発したネットワーク型震度速報システムは、改良を加えつつ、既にフィリピンにおける計測震度ネットワークとして運用が始まった。現在進行中の日本の無償資金協力による地震津波観測網の増強計画では、同等仕様の 240 台の震度速報システムが供与される計画である。今後数年でフィリピンには合計約 300 か所からなるリアルタイム計測震度観測網が完成し、迅速な被害状況の把握と被害原因の究明に役割を果たす。本システムは他の開発途上国への普及も念頭に置き、最先端の技術を用いることよりも、単純さ、拡張可能性、持続可能性を旨として開発した。防災科研で実施中の別課題でインドネシアおよびブータンへの導入が計画されている。

iii) 津波情報の高度化

本課題で開発した津波観測システムは、最終年度に問題が発生したが原因はほぼ究明され、2015 年 3 月までに再設置・稼働する予定である。しかし実用化にはさらに1年程度の安定稼働実績の蓄積が必要である。一方現在 PHIVOLCS は、自力予算で同じ目的の津波直前観測および警報伝達網を建設した。しかし情報伝達に携帯電話回線を使っているため、大きな災害時には通信量が飽和して機能しないことが予想される。本課題で導入した、超低消費電力無線テレメタ装置を通信手段に用いることにより、災害時の通信路の確保という最重要問題が解決する。

津波データベース構築は、東日本大震災を教訓に、フィリピンの近地津波警報システムの導入を加速するために新たに加えられたテーマである。津波計算データベースならびに、震源情報から各地の津波を予測する会話型のデータベース検索システムが既に完成し、津波警報システムの構築

が大きく前進した。

4. 2 地震発生ポテンシャル評価

(1)研究実施内容及び成果

研究実施方法

ミンダナオ島において連続およびキャンペーンによる GPS 観測により地殻変動を検出し、1)ミンダナオ島東方のフィリピン海溝におけるフィリピン海プレートの沈み込みにおける滑り欠損量、および2)フィリピン断層周辺域における断層滑り速度と歪み蓄積過程を明らかにする。またミンダナオ島の内陸部と海岸線沿いに変位地形を調査する。

計画が進捗するに従い、上述の項目に、津波堆積物に関する予備調査、被害地震の発生を受けた地震断層調査、海底音波探査による活断層調査、フィリピン断層の走向方向への運動様式変化を明らかにするためのフィールド調査などが追加された。

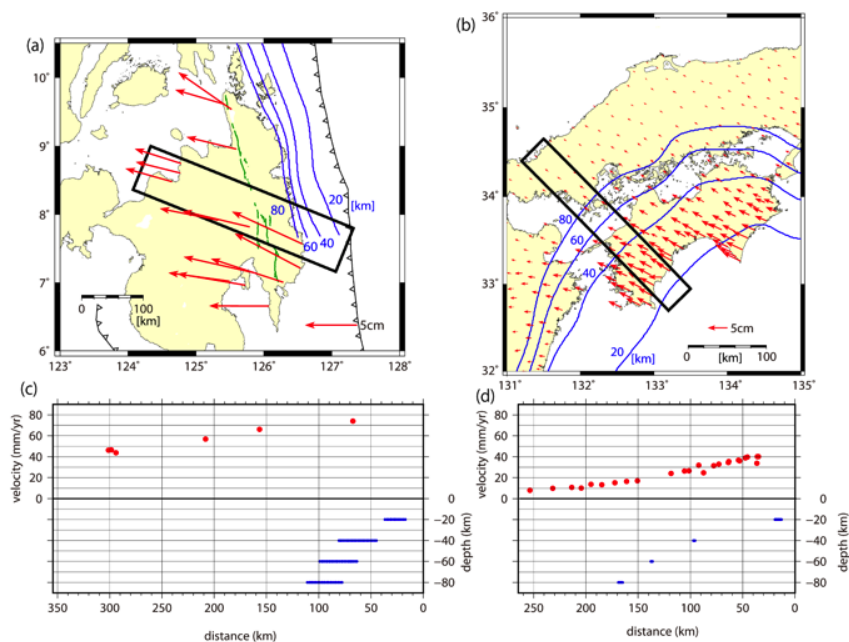
研究の実施内容と成果

i) GPS 観測

ミンダナオ東部の15カ所におけるキャンペーン観測を2010年3月から2014年3月まで1年おきに5回実施した。いずれの観測点でも、基準点の直上に三脚を設置し、それにアンテナを取り付けて観測が行なわれた。30秒サンプリングのデータが3-6日間にわたって連続的に取得されている。なお、これらの観測はすべて PHIVOLCS の職員と共同で行われている。

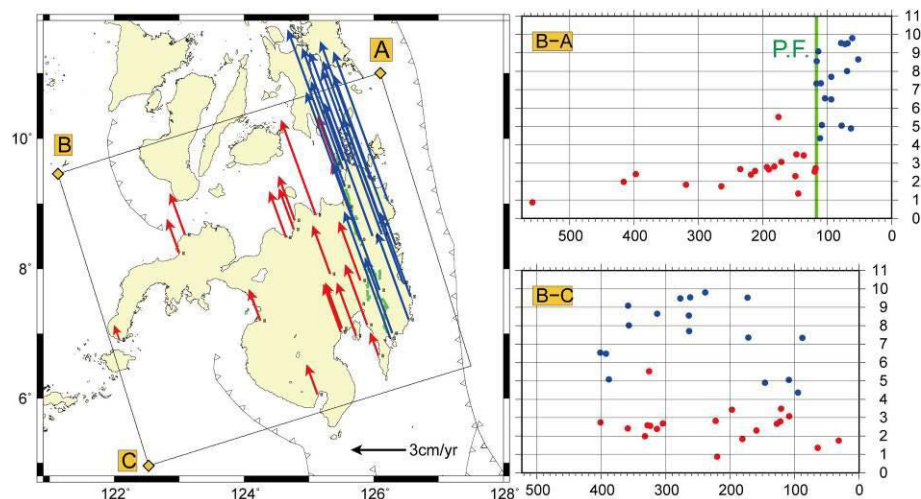
連続観測は2010年12月からミンダナオ北東部の2カ所で開始された。いずれも現地収録方式で、GPSアンテナは大学などの屋上に固定されている。その後、電源事情の悪さに起因する高い欠測率を改善するため、2012年11月に受信機入れ替えを実施するとともに、1点を増設した。さらに2014年3月に、地殻変動の即時把握などを目的として、2観測点の Internet 接続によるデータ転送を開始した。さらに、2014年6月には、停電対策を充実させるとともに、choking アンテナへの交換を行ない、測位誤差の低減を図った。また、残りの1観測点の Internet 接続を行なった。

まず、2010年から2014年までのキャンペーン観測の結果について述べる。解析には Bernese GPS Software5.0 を用い、IGS 連続観測点 PIMO(ルソン島 Quezon 市)を基線解析に含めることで、ITRF2008 に準拠した全点の座標と変位速度を算出した。こうして得られた速度場とミンダナオ西部を含めて1997~2003年に実施されたキャンペーン観測により得られた速度場を併用し、ミンダナオ島全域のスダプレート(SUP)に対する地殻水平速度場をもとめた。その結果、フィリピン海プレート(PHP)の沈み込みに伴い全体として3-8cm/yearの西北西向きの水平変位が卓越すること、プレートの沈み込み角度が約45°と比較的大きいにもかかわらず海溝からの距離増加に伴う水平速度の減衰は顕著でないことが明らかになった。この変位場の特徴を、より浅い角度でフィリピン海プレートが南海トラフ沿いに沈み込む西南日本の変位速度場と比較すると、プレート境界から250-300km 離れると、西南日本では速度が1 cm/year 以下となるが、ミンダナオではなお4cm/year と大きな値を保っていることがわかる。



(a) キャンペーン観測(2010-2013)で得られたSUP準拠の変動ベクトル。プレート等深線とフィリピン断層が青、本プロジェクトとで判読された位置が緑線で示されている。フィリピン海溝と南海トラフのプレート沈み込み角度および速度減衰の比較のため (b) 2006~2009年の西日本の水平速度場(アムールプレート準拠, GEONETのF3解より算出)とプレート境界の等深線、(c): ミンダナオ島の水平速度とプレート境界のプロファイル、(d): 西日本の水平速度とプレート境界のプロファイルが示されている

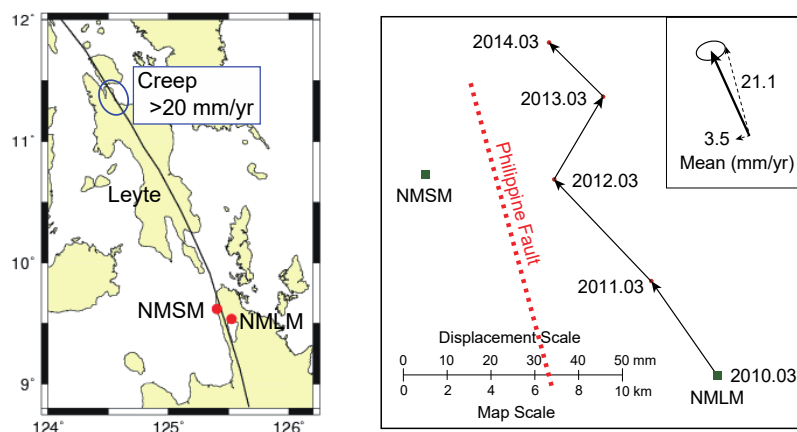
USGS のスラブモデルを北緯 5.7 度まで外装したプレート境界面のモデルにプレート相対運動モデル MORVEL(DeMets et al., 2010) に基づく PHP-SUP のプレート間相対運動速度を与え、ミンダナオ島の弾性圧縮変形を計算した。その結果、深さ 80 km まで固着率 100%とした場合においても、計算値は観測値を最大 29%程度しか説明できないことがわかった。このことは、上盤側のミンダナオ島が西方の SUP に属している(あるいは固定されている)のではなく、東からの PHP の押しに対して、比較的自由に動ける環境にあることを示している。プレート沈み込み角度を考慮すると海溝からの距離増大による速度の減衰も小さいことから、得られた速度場にはかなりの剛体回転運動が含まれていることがわかった。



観測された水平変位速度のフィリピン断層に平行な成分のプロファイル。断層をはさんで東側(青)と西側(赤)でオフセットが認められる (PHIVOLCS独自のキャンペーンデータも加えて表示)。

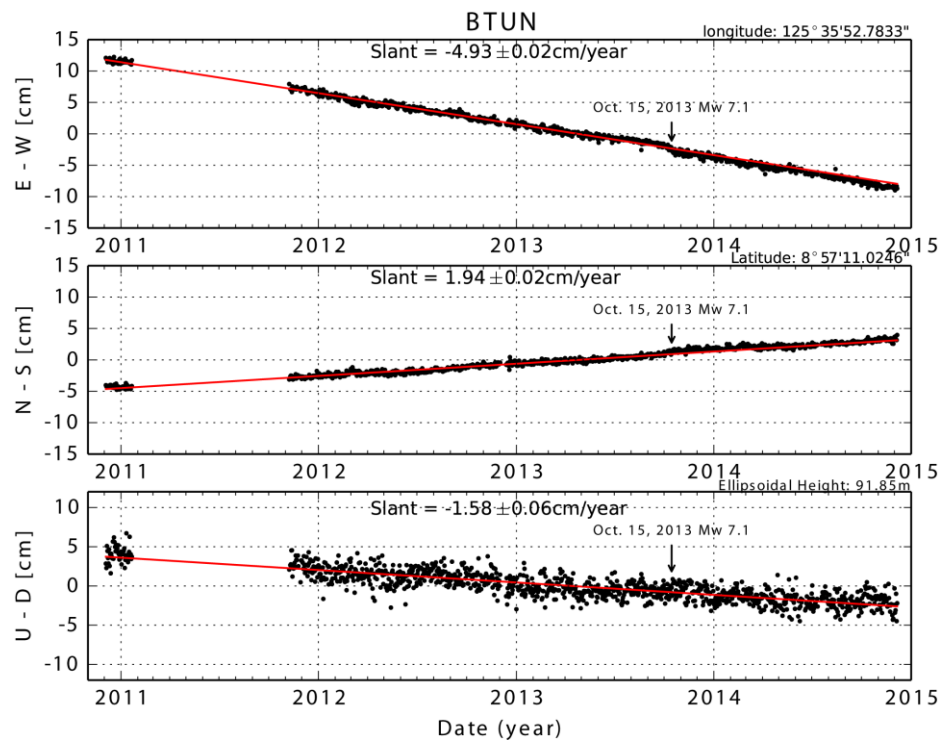
観測された変位速度ベクトルをフィリピン断層に平行な成分と垂直な成分に分解したところ、断層に平行な成分の分布には、断層をはさんで明瞭なオフセットが認められ、その量は 1-3 cm/yr 以上であることがわかった。この結果は、フィリピン断層がブロック境界のひとつを成していることを示している。そこで、得られた速度場から剛体回転運動のオイラー極の位置および角速度を推定したところ、ミンダナオ島全域が単一の地殻ブロックであるという仮説は棄却され、ミンダナオ島は少なくとも 3 つの地殻ブロックに分割されること、ブロック境界の一つはフィリピン断層に一致することが明らかになった。これらの解析結果は、ミンダナオ島東部の 14 点において 2010 年と 2011 年に PHIVOLCS が独自に行った GPS キャンペーン観測の結果を併用しても、同様であった。

フィリピン断層沿いの変動を詳細に調べたところ、ミンダナオ最北部のフィリピン断層をはさむ 2 点間で、断層にほぼ平行に 2.1 cm/year の速度をもつ一方向的な変位が観測された。これが断層クリープであるかどうかは今後の詳細な現地調査結果を待たなければならないが、北部ではこの動きにより歪みが解消されていることが予想される。一方、南部ではそのようなクリープ運動のような変位は観測されていない。フィリピン断層の左横ずれ成分は北から南に小さくなっており、このことは、南部(後述の Mati セグメント)地域でのフィリピン断層の固着を示している可能性がある。

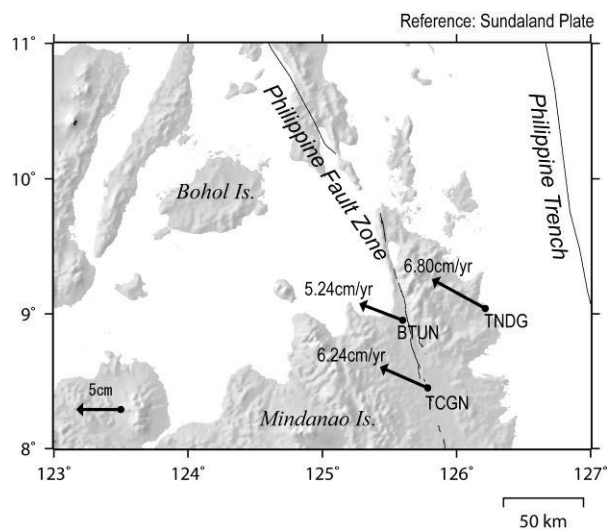


断層に垂直な方向に約 10km 離れた 2 点の相対運動(2010-2014)。この領域は後述のフィリピン断層の Surigao セグメントに位置する。

次に連続 GPS 観測の結果について述べる。このデータ解析もキャンペーンデータと同様、IGS 観測点 PIMO の ITRF2008 座標系における座標値と速度を拘束し、Bernese GPS Software 5.0 を用いて各観測点の日々の相対座標を計算したのち、SUP に対する変位に変換した。3点の速度は WNW 方向に $5.24 \sim 6.80$ cm/year であり、キャンペーン観測結果と整合的な値である。また、それぞれ水平変動のバラツキは小さく、また変動速度も非常に安定しており、万一、近傍のプレート境界の固着状態に顕著な変化があった場合には検出可能であると考えられる。3 ヶ所のうち、ブツアン(BTUN)で、約 20 mm の沈降が観測された。この沈降の原因として、フィリピン断層のクリープや局所的な地盤沈下などが候補として挙げられる。



GPS 連続観測点 BUTN における座標値の時系列（2014 年 12 月のデータを解析、SUP 準拠）。2012 年に受信機を入れ替え、安定的にデータが得られている。また、2014 年 9 月のメンテナンス以降もオンラインによるデータ回収が安定して行なわれている。西北西向き、年 1.6cm の沈降、2013 年 10 月 15 日バホール地震にともなう変位ステップが観測されている。

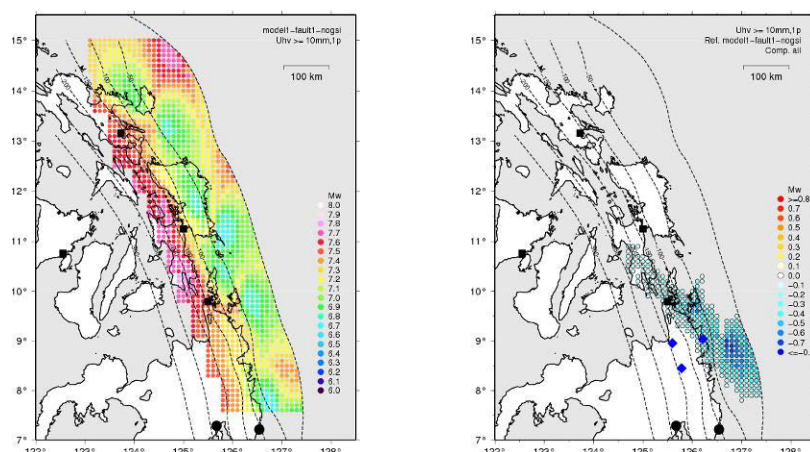


3 点の速度ベクトル（2014 年 3 月までのデータ解析結果 SUP 準拠）。キャンペーン観測と同様の結果がえられている。

GPS 連続観測点を3カ所に新設したことの有用性を調べるため、1)下の図に示される領域において、フィリピン海溝から沈み込む PSP 上面に 1610 個のグリッドを作成し、2)各グリッドにおいては、プレート運動から予想されるメカニズム解を仮定し、3)マグニチュード(滑り量)を変えてフィリピン諸島における変位場を計算し、4)既存(NAMRIA)および新設観測点のうちの複数の観測点で1cm 以上の変位ステップが観測されるマグニチュードの下限を調べた。その結果、ミンダナオ島の北東域で発生する地震の下限が、3カ所新設前にくらべて、0.7 小さくなり、この領域で発生する地震の検知

能力が向上したことが明らかになった。なお、2013 年 10 月 15 日に発生したボホール地震 (M7.2) にもなう地殻変動も3カ所の連続観測点でとらえられている。

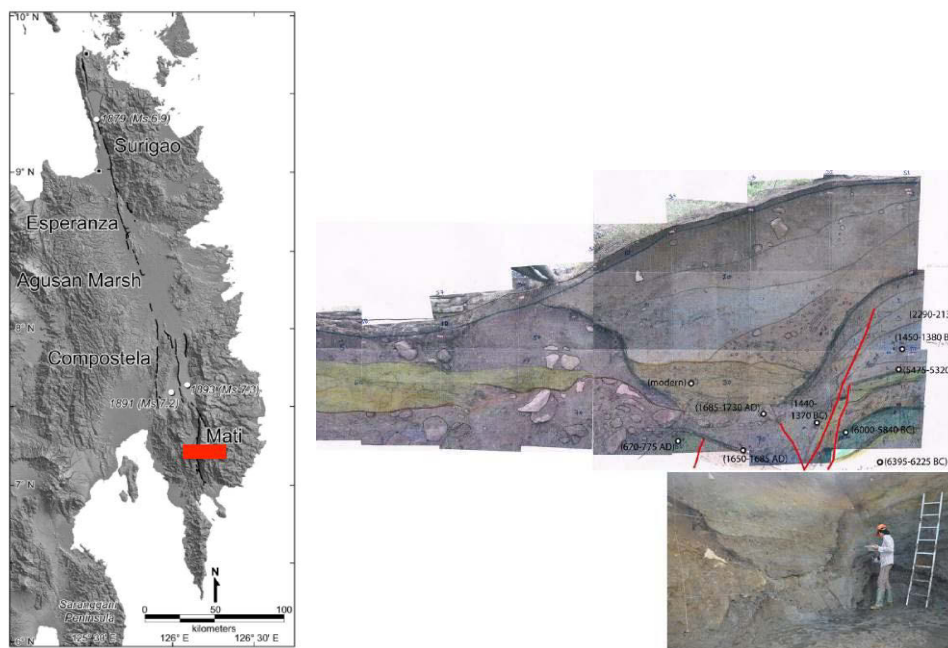
キャンペーンおよび連続 GPS 観測から得られたミンダナオ島の変動パターンは、日本列島のそれとは大きく異なるものであり、沈み込み帯における変動の多様性を示すものであった。そのため、本プロジェクト中にプレート境界における固着域分布を明らかにすることは出来なかった。この多様性を説明するためには、今後、西南日本やインドネシアなどの島弧との比較をおこなう国際研究を通して、新しいモデルを構築する必要がある。



左：本プロジェクト開始前の GPS 連続観測点 (●：NAMRIA 所属) のみ 1 cm の変位を複数の観測点で観測可能な地震のマグニチュード下限の分布 右：本プロジェクトでミンダナオ島に 3 カ所の連続観測点を整備した結果、マグニチュード下限が小さくなった領域。この領域で地震検知能力が向上したことを示す。

ii) 地形学的・古地震学的調査

地震発生ポテンシャルの評価のためには、地震発生減となる活断層の詳細な分布を知ることが不可欠である。そこで、航空写真などを用いた地形判読によりミンダナオ島東部のフィリピン断層のマッピングを行った。その結果、ミンダナオ島のフィリピン断層が複数のセグメントに分かれていることが明らかになった。また、ミンダナオ島の 2 地点でトレンチ掘削調査を行い、これまでに実施された 4 地点でのトレンチ調査の結果も合わせて整理した。6 地点のトレンチのうち、3 地点のトレンチで、1-3 回の変位を受けた複数の地層からそれぞれの放射性炭素年代測定値が得られ、それらをもとに個々の地点での断層の活動履歴が検討された。これらの結果、複数のセグメントが同時に活動したことを示す証拠は得られていない。北部の Surigao セグメントでは 1879 年に M7.4 の地震が、中南部の Central Compostela Valley セグメントでは 1893 年に M7.2 の地震が発生している。トレンチ調査ではこれらの地震にともなう地層の変位も検出され、それ以前に発生した地震の年代も合わせて再来周期が求められた。えられた再来周期は Surigao セグメントで 300~500 年、Central Compostela Valley セグメントでは 500~1000 年であった。一方、最南端の Mati セグメントでは、歴史記録に残る(西暦 1589 年以降)地震は発生していない。しかし、トレンチ調査の結果、このセグメントでも地表を変位させた地震が 3-4 回発生したこと、そのうちの最新の地震が発生した時期は西暦 670 年以降であることが明らかになった。また、再来周期は北側の 2 つのセグメントより長いことが明らかになった。また、これらの 3 つのセグメントで発生する地震の最大マグニチュードは、断層の長さから、7.1~7.4 であると推定された。



左: ミンダナオ島のフィリピン断層の主なセグメント（北から Surigao, Agusan Marsh, Compostela, Mati）。それぞれの長さは 55~100km である。赤四角は Mati セグメントで実施されたトレンチの位置。
 右: Mati セグメントでのトレンチの様子。断層と炭素同位体比測定による年代が示されている。

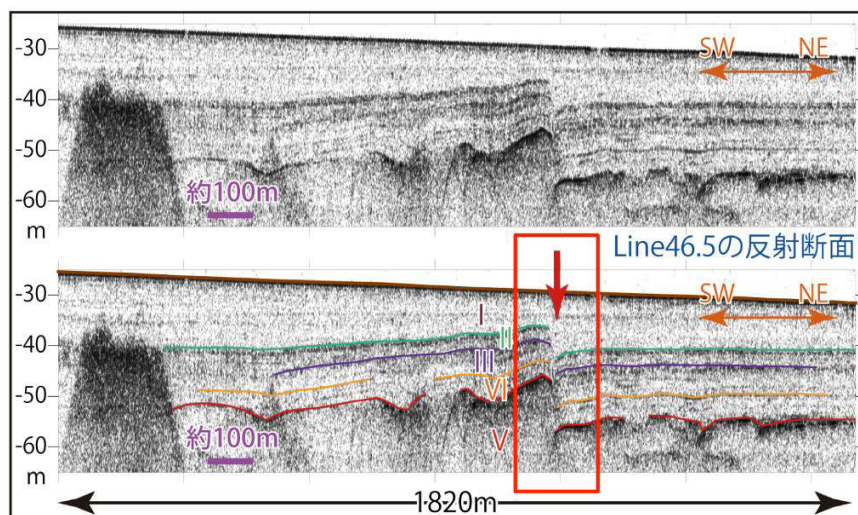
一方、レイテ島の北部と中部で、断層クリープによる人工構造物の変形を見だし、クリープ変位速度を検討した。また InSAR 解析により、クリープ変位が起こっている領域の広がりと速度を検討した。さらに、クリープの有無や速度をモニタリングするための測量基線をレイテ島とマスバテ島の複数箇所に設置した。その結果、レイテ島のほぼ全域で、非地震性のクリープ変位が起こっていることが明らかとなった。その速度は 1.5~2.5cm/year 程度であり、これは GPS 測量で明らかにされたフィリピン断層の変位速度に匹敵する。またマスバテ島でも最大で 1.5cm/year に達するクリープ変位が起こっていることが明らかとなった。レイテ島やマスバテ島では、フィリピン断層の変位のかかなりの部分が非地震性のクリープ変位でまかなわれている可能性が高い。

ミンダナオ島において、GPS 観測によりクリープ性の変位が観測されているのは北部の Surigao セグメントであり、ここでは、上で述べたように 1879 年に M7.4 の地表変位を伴う地震が発生し、大きな被害がもたらされている。本プロジェクトにより、フィリピン断層の運動様式は走向方向に変化していること明らかになったが、M7 級の地震を引き起こすセグメントでも、地震サイクル中のある時期によっては固着せずにクリープが発生している可能性がある。そこで、ミンダナオ島の Surigao セグメントにおいても、測量基線を設置し、クリープのモニタリングを開始した。

ミンダナオにおける、フィリピン断層帯以外の活断層の分布をも明らかにするため、空中写真を用いた活断層判読を行った。その結果、ミンダナオ島東半分において数多くの活断層が新たに認定された。フィリピン断層帯においても、南部において複数のセグメントが新たに認定された。ミンダナオ島中部では、ダバオ市西部において、顕著な南北性の逆断層帯が新たに発見された。この発見は、ダバオの地震被害予測に大きな影響を与える重要なものである。ただし、ミンダナオ島西部では、空中写真を利用できたのは限られた範囲であった。そこで、NAMIRA から InSAR 解析による地形データの提供をうけ、活断層判読を開始した。

ミンダナオ島以外に目を向けてみると、フィリピン断層の約半分は海域に分布しており、1973 ラガイ湾地震のように、海域のフィリピン断層で発生した地震により津波被害がもたらされた例もある。これらの地震や津波発生ポテンシャルを明らかにするためには、海底部の活断層の詳細な位置・形状と変位構造を明らかにする必要がある。そこで、PHIVOLCS に地層探査装置 (StrataBox) を供与し、それらを用いて、ラガイ湾、レイテ湾、マイニット湖 (ミンダナオ北部)、ダバオ湾などにおいて現地調査を実施した。特にラガイ湾では、横ずれ断層の詳細変位構造を解明するために、断層線を 20m 間隔

で横切る地層探査調査を実施し、主要な音響反射面の DEM を作成し、それをもとに断層の変位構造を3次的に復元した。その結果、陸域横ずれ断層にそって発達するプレッシャーリッジに対応する変位地形が同定された。また、マイニット湖(Surigao セグメント上に位置する)でも、フィリピン断層を構成する活断層の位置・形状が解明された。しかし、レイテ湾やダバオ湾では、想定される断層位置に反射断面に変位構造を認めることができなかった。これは、活断層が存在しないということではなく、底質や調査に使用機材の能力に関連するものと推定される。



ラガイ湾（ルソン島南部）の海底地層調査によって明らかになった地震による変位の累積構造。フィリピン断層では左横ずれの運動が顕著であるが、地震の際には上下変動も伴い、海域の地震では津波の発生要因となる。

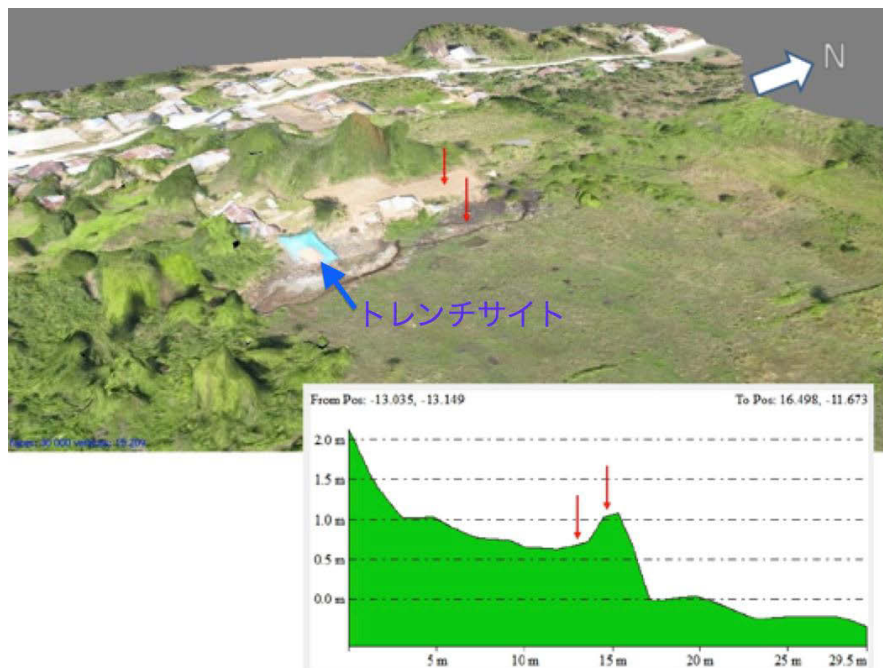
津波堆積物を指標にして、フィリピン海溝・マニラ海溝で発生する巨大津波の発生ポテンシャルを明らかにすることを目的として、マニラ海溝に面する Zambales 州において、浜堤間の低地において深さ 10m のボーリングコアを 2 本採取し、層相の記載と分析を進めた。しかし、全体的に粗粒な火山砕屑物や砂層で構成されたコアからは明瞭な津波堆積物を認定することができなかった。熱帯地域では腐植の分解速度が大きく、通常堤間低地で形成される泥炭層が形成されにくいいため、津波堆積物の認定が困難であることが判明した。

iii) 被害地震発生にともなう緊急調査

2012 年 2 月 6 日に発生したネグロス地震 (M6.9)、2013 年 10 月 15 日に発生したボホール地震 (M7.2) の緊急調査を行った。

ネグロス島の調査では、地層探査装置を用いた海底調査が実施された。その結果、海岸から約数100m沖に、海岸線に平行する深さ100mから450mにかけて急崖が連続的に発達しており、その一部が地すべりを起こしていることを発見した。これによって、津波の原因が局地的な海底地すべりであることを特定することができた。この結果は、フィリピンにおける津波発生ポテンシャルを評価する上で、非常に重要である。

ボホール島の調査では、UAV に搭載したカメラおよびポールカメラで撮影された画像から、等高線図を作成し、詳細な断層変位形態を復元した。また、これらのデータを用いて、断層変位量の計測を行った。なおこの現地調査には、人工衛星合成開口レーダー (SAR) により把握された地殻変動の分布 (Kobayashi, 2014) が有効利用され、その後、空撮から地形図作成にいたる技術は Mati セグメントでのトレンチサイトの空撮に生かされている。



UAV に搭載したカメラで撮影された Mati トレンチ周辺。およびその画像から作成された等高線から作成された断面図。断層変位地形がとらえられている。

技術移転の状況

GPS 観測の技術は、キャンペーン観測の実施を通して、多くの PHIVOLCS スタッフに移転されている。また、GPS 連続観測点を半年毎に訪問することで、GPS 連続観測点の点検整備、データ回収方法等に関する技術移転が実施された。さらに、Internet 接続を実施することにより、リアルタイム観測に向けた環境整備の技術の移転が行われた。さらに、2014 年 9 月 15-30 日 PHIVOLCS 職員を国土地理院に招へいし、GPS データ解析・地殻変動解析方法の習得を実施した。

GPS データの解析結果から、断層におけるクリープ運動のモデル化とプレート沈み込み運動をモデル化する方法の移転については、研究者を日本に招いた際に国際的な成果について議論することにより行われた。

空中写真を用いた活断層判読の講習会が開催され、10 名の参加者に技術指導が行われた。また断層図の作成方法や断層の分布の地域的特徴およびフィリピン断層から発生した歴史地震について解説した論文を出版し、指導に活用している。また、トレンチおよび地層断面の解釈に関しては、現地での共同作業や日本での研修を通して、技術移転が行なわれている。

地層探査装置 (StrataBox) の使用に関する技術は、海底地層探査による断層調査を通して実施された。結果の解釈については、日本での研修を通じて技術移転を行った。また、UAV と写真測量ソフトを用いた DEM 作成技術の移転も機材やソフトウェアの供与、講習会の開催、防災科学技術研究所への招聘などを通して実施されている。

(2)研究成果の今後期待される効果

巨大地震の再来が懸念されているフィリピンの沈み込み帯および断層帯において、固着域の分布をとらえ、想定震源域の位置や規模を予測する上で GPS 観測は非常に重要である。また、ひずみの蓄積の進行や時間変化を精度よく調べるためには GPS 連続観測が有効である。今後は、地殻変動を連続監視し、地震時変動を即時把握するため、またスロースリップの発生等、想定震源域周辺のプレート境界域を監視するという観点からも、フィリピン国内でオンラインの GPS 連続観測点を増設していくことが必要である。そして、その GPS 連続観測点が安定的に運用されれば、「地殻変動の即時検出⇒地震の規模の即時推定⇒超巨大地震による津波に対する警報の信頼

性・迅速性の改善」に資することも可能である。

陸域および海底の活断層の詳細な分布図は、この断層から発生する地震・津波災害軽減の基礎資料として広く活用されるほか、地殻変動の観測結果の解析に不可欠なデータである。また、フィリピン断層から発生する地震の発生様式や規模が走向方向に多様であることがわかったことは、今後の防災計画や大規模構造物の耐震基準を策定する上で重要な基礎データになる。

今後は、カウンターパートであるPHIVOLCSのスタッフがフィリピン断層帯やミンダナオ島以外の地域や海域において、基礎的なデータを着実に整備することが可能である。これによって、国民に、地震発生源とそれによって引き起こされる地震災害の規模予測などについて、より具体的かつ詳細な情報が提供することが期待される。

ボホール地震後の緊急調査で試みられたUAVを利用した地形調査や災害調査は、空中レーザー計測と同等の精度を有し、費用対効果の点で大きなメリットがある。それゆえ途上国における災害後緊急調査や通常の地形調査に極めて有効で、活断層のマッピングにも利用可能である。地震・津波・火山・台風などの自然災害が多発するフィリピンでは、今後、この手法が大きな成果を生むと期待される。

4. 3 リアルタイム総合火山観測

(1)研究実施内容及び成果

i) 火山地震空振観測

H22 年度は、火山観測機材の調達および輸送・通関を行い、11 月にタール火山での機材の設置を行った。タール火山の既存の 3 か所の観測点と 2 か所のリピータ点に、広帯域地震計を設置するボルトを建設し、記録計などの機材を置くために観測小屋の拡張を行った。さらに、ソーラーパネルの追加などの電源の強化を行ったうえで、5 台の広帯域地震計と 2 台の空振計を設置した(図1)。衛星テレメータを用いてこれらのデータをマニラの PHIVOLCS 本部までリアルタイムで伝送を行うシステムの構築を行った。さらに、伝送された連続データを自動的に表示するとともに、イベントが発生した場合に自動的にトリガーし波形等を表示するプログラムを導入した。これらの結果はウェブを用いて閲覧できるため、火山の活動状況だけでなく観測点やネットワークの稼働状況の把握が PHIVOLCS 本部においてできるようになった。これらの観測システムの構築により、これまでの短周期地震計では捉えることのできなかった超長周期帯(10-50 秒)のシグナルを用いた火山監視が可能となった。また、広帯域地震波形の定量解析を行うために、タール火山の地形と湖を考慮したグリーン関数の計算手法の開発を行った。差分法を用いて、PML と呼ばれる吸収境界条件と、固体と水の境界条件を用いて 3 次元での計算を行った。その結果、浅い震源において、周期が 2~3 秒と短く震源距離が大きい場合に、湖の効果が顕著に表れることが分かった。

H23 年度は、マヨン火山の観測システム整備のための機材調達を行い、マヨン火山の 3 か所の観測点に広帯域地震計と空振計を設置し(図 2)、それらのデータをマニラの PHIVOLCS 本部にリアルタイムで伝送するシステムを構築した。さらにマヨン火山の地震データを用いて、イベントを自動的にトリガーし波形等を表示するプログラムを導入し、それらの結果がウェブにより閲覧できるようになった。また前年度設置したタール火山の地震観測網のための、高周波地震波振幅を用いた震源決定システム(ASL)の開発を行った。7-8 月に Rudy Lacson 研究員を防災科研に招へいし、地震・空振データを取り扱うための Linux システムや地震解析手法についての研修を行った。さらに ASL のために必要な各観測点の振幅増幅係数をコード規格化法により推定した。またタール火山の地震データの解析を進めた結果、0.8 Hz 付近に卓越周期を持った孤立型の低周波地震と微動が火口湖周辺でほぼ常時発生していることが明らかになった。昨年度開発したグリーン関数の計算手法を用いて波形インバージョンによる震源メカニズム解析を行った結果、低周波地震の震源は火口湖の北西に浅部にある体積変化を伴うクラックであることが分かった。

H24 年度は、タール火山で取得されている地震・空振・電磁気・GPS のリアルタイムデータを比較表示し、ウェブにより閲覧できるシステムを構築した。これにより多項目観測データの比較から、ター

ル火山活動の時間変化が検出可能となった。また Earth Observatory of Singapore (EOS) によりマヨン火山に設置された観測点の地震データに関して、PHIVOLCS のシステムでのリアルタイム取得を可能とした。マヨン火山用の ASL を構築し、その導入を行った。ただしマヨン火山の地震活動は低調であり、震源決定精度等の調査が出来ておらず、今後さらにシステムの調整が必要である。タール火山のクレーター内とマヨン火山の観測所と山腹にネットワークカメラを設置し、遠隔監視を可能とした。これらの映像はポータルサイト(プロトタイプ)を通して、PHIVOLCS だけでなく、日本側でも閲覧が可能となった。タール火山で発生した低周波地震の解析を進め、この地震の振動波形が水蒸気に満たされたクラックの振動により説明できることが分かった。この水蒸気はタール火山下のマグマから脱ガスして浅部に運ばれたものと解釈できる。この解釈に基づくと、低周波地震が群発的に発生していた 2010-2011 年に関与したマグマの量は 105-107 m³ と推定された。タール火山の地形と湖を考慮したグリーン関数に関する成果を EPS に出版した。

H25 年度は、タール火山とマヨン火山観測網のデータが安定に取得され、継続的に両火山の監視に用いられた。Rudy Lacson 研究員の名古屋大学での研修(6-8 月)により、タール火山で発生した火山構造成地震に関して、ASL によって推定された震源位置と初動走時を用いた震源位置との比較がなされ、両者に大きな差がある地震があることが示された。2010-2011 年にタール火山で群発的に発生した低周波地震の発生過程に関して、マグマから脱ガスした水蒸気の地表付近における急激な凝縮が、浅部クラックの振動を励起したというモデルを提唱し、その成果をまとめ JGR に出版した。マヨン火山で 2013 年 5 月 7 日に発生した水蒸気爆発に伴い超長周期地震が観測された。地震計および空振計に記録されたデータを用いて、その震源過程に関する解析を行った。さらにクラック振動および火山性地震の震源表現に関する理論的な考察を行った。それらの成果を GRL と EPS に出版した。

H26 年度は、タール火山の火山構造成地震に見つかった ASL と初動震源決定による震源位置の差に関する考察を行った。その結果、両者の差は、タール火山島東斜面下の S 波減衰領域の存在により説明できることが分かった(図 3)。この異常減衰領域は、本プロジェクトの電磁気グループにより推定されたタール火山の低比抵抗領域に対応しており、流体の存在が示唆される。この減衰領域は、活発な噴気帯の直下に位置しており、GPS から推定された圧力源の上にあることから、この減衰領域には脱ガスを起こしているマグマが存在すると解釈できる。この解釈に基づくと火山島の東斜面にはほぼオープンな状態のマグマ火道が存在することになり、次の噴火活動が始まった場合、この付近の噴火被害リスクは高いと推定される。この成果は GRL に投稿中である。なお電磁気グループはタール火山の火口下に熱水だまりの存在を推定しており、我々の浅部マグマの解釈とは異なっている。どちらの解釈がより適切であるのか、今後さらに研究を進める必要がある。またマヨン火山で 2013 年 5 月 7 日に発生した水蒸気爆発に伴い観測された超長周期地震のメカニズムは、火口浅部の水平なクラックの急激な膨張とその後の収縮および上下方向のシングルフォースにより説明できることが分かった(図 4)。これは地下水の急激な沸騰と水蒸気の放出と解釈できる。マヨン火山では今回と同様の水蒸気爆発が過去に繰り返し発生している。その発生モデルとして、推定されたクラックが粘土鉱物の沈着等の作用により密閉化されたときに水蒸気爆発が起こるという過程を提唱した。この成果は JGR に投稿中である。6-7 月に Winchelle Sevilla 研究員を名大に招へいし、本プロジェクトで導入された火山監視システムをブルサン火山に適用するための研修を行った。これを通して、波形連続表示・イベントトリガー・ASL 等の火山監視システムの導入に関する技術移転を行うとともに、プロジェクトで対象とした火山以外にもこれらの監視システムが活用されることとなった。なお 7 月 16 日にルソン島を直撃した台風により衛星テレメータシステムが被害を受け、その復旧を PHIVOLCS が進めている。

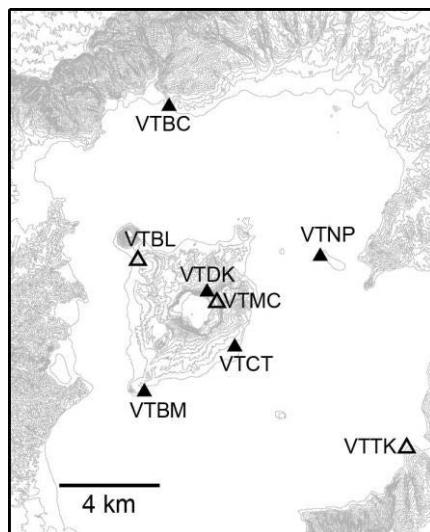


図 1. タール火山の地震観測点の分布。黒三角が広帯域地震観測点、白三角が短周期地震観測点を示す。

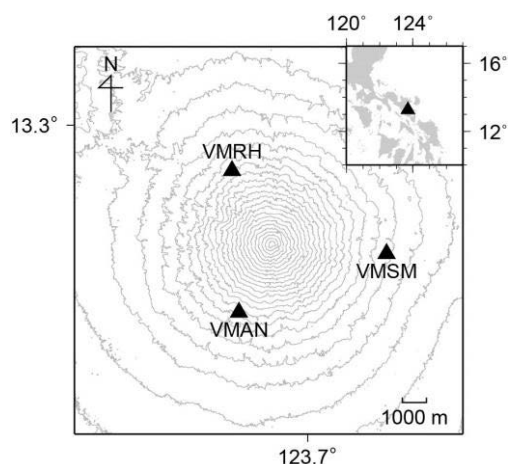
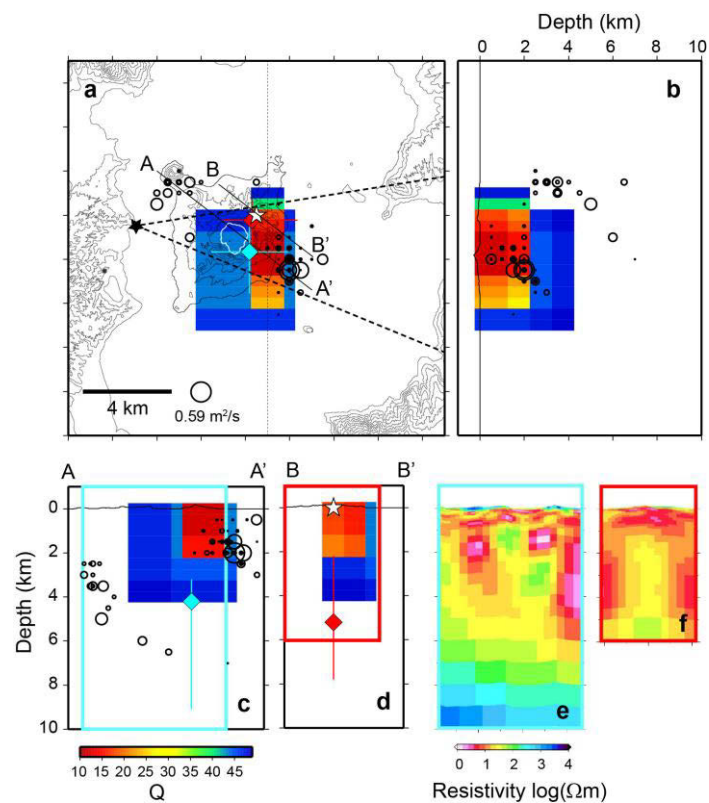
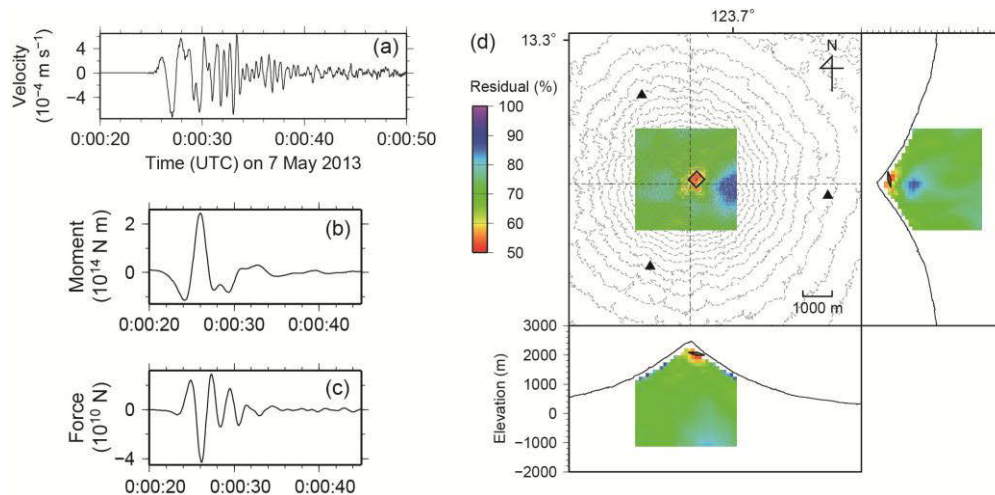


図 2. マヨン火山の広帯域地震観測点の分布。



(a-d) タール火山の火山構造成地震の震源位置解析から推定されたS波減衰構造とGPSデータから推定された圧力源（青と赤のダイヤモンド）、低周波地震の震源位置（星）、1993年の人工地震波探査から推定された低速度・高減衰領域の広がり（破線）。丸は火山構造成地震の震源位置を示す。(e, f) 電磁気探査によって推定された比抵抗構造（青と赤の枠がそれぞれ図3aと3bの青と赤の枠に対応）。



(a) マヨン火山で 2013 年 5 月 7 日に発生した水蒸気爆発に伴い観測された超長周期地震。
 (b, c) 推定されたクラックおよび上下方向のシングルフォースの震源時間関数。(d) 推定されたクラック震源の位置。

ii) 火山 GPS 観測

実施方法

タール・マヨン火山に GPS 連続観測網を構築し、リアルタイム処理で地殻変動をモニタリングし、マグマ貫入課程を明らかにすると同時に噴火に伴う防災に利用する。

実施内容

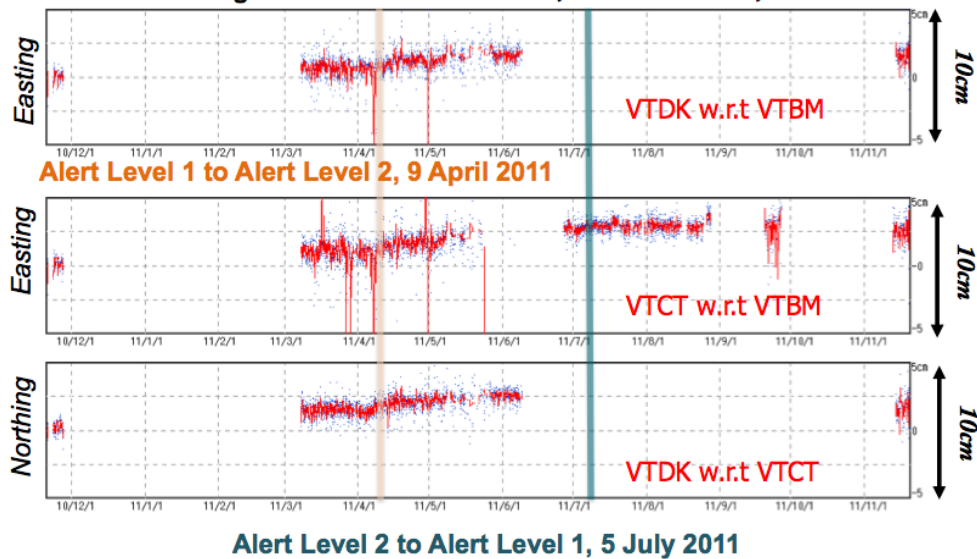
タール火山およびマヨン火山にそれぞれ3点の GPS 観測点を設置し、各観測点から観測所までは無線 LAN、観測所から PHIVOLCS 本部までは衛星通信により、観測データをリアルタイム転送し、本部に設置したサーバーで Real time kinematic 解析をおこなうシステムを構築した。観測点の相対変位は 10 秒ごとに計算される。そして、タールおよびマヨン火山観測所にも GPS 受信機を設置し、4観測点による地殻変動監視体制が確立された。一方、マヨン火山では、リアルタイム地殻変動モニタリングを補完する目的で、GPS 繰り返し観測を平成 23~26 年度に 8 回実施した。また、これらの繰り返し観測点のうち3カ所を連続観測化(現地収録)した。さらにマヨン火山において過去に実施されていた GPS 観測の結果を再検討し、2006 年噴火に伴う地殻変動の検出とマグマ供給過程の推定を行った。

成果

タール火山で地震活動が活発化し、警戒レベルが1から2に引き上げられた2011年4月以降、火山島の膨張を示唆する地殻変動が GPS 連続観測でとらえられ、リアルタイム処理システムが火山活動監視において有効な手段になることが確認された(下図)。

Displacement detected by RTK in Taal Volcano

1 hour averaged solution from Nov. 20, 2010 to Nov. 20, 2011

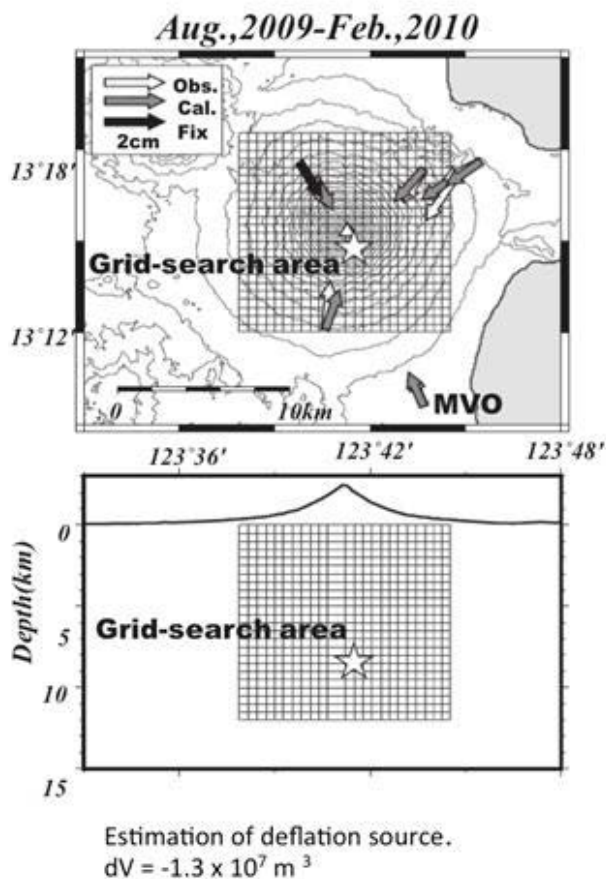


この変動源に球状圧力源を仮定し、グリッドサーチにより、位置と体積変化量を推定した。観測点数が少なく、一意的には変動源の要素を決定できなかったが、深さ 2.5~4km で 50 万立法メートルの膨張が生じていたことが明らかにされた。

一方、2013 年5月に小規模な水蒸気爆発を引き起こしたマヨン火山では、その爆発前後に顕著な地殻変動は検出されなかった。これは、この水蒸気爆発が火口直下の極浅部における現象であったためであると考えられる。

マヨン火山ではPHIVOLCSが2004年からGPS連続観測を実施し、2006年噴火に伴う地殻変動を観測していたが、これまでにマヨン火山における圧力源はほとんど明確になっていなかった。その地殻変動を整理し、2006年噴火時の圧力源の推定を試みた。その結果、溶岩流出が始まった7月13日より、山体周辺では収縮の地殻変動が急速に進行したことが明らかになった。この地殻変動から、山頂直下の14kmよりも深部に収縮の球状圧力源が推定された。また、この噴火の準備過程として、2005年7月から2006年にかけて膨張の地殻変動が観測され、膨張の球状圧力源が頂上直下の深さ6kmに推定された。

一方、マヨン火山において過去に実施された繰り返し観測のデータを解析した結果、2009年のマグマ放出に伴う山体収縮の変動源は深さ約8kmで体積収縮量は約1300万立方メートルであることが明らかになった(下図)。また、この噴火以降は変動がほとんどないことが繰り返し観測からも確認されている。



技術移転の状況

タール火山およびマヨン火山におけるリアルタイム GPS 観測点設置を通し、GPS 受信機の設定、アンテナの設置などの技術移転が行われた。リアルタイム解析システムの維持・管理方法に関する技術移転も行われた。また、繰り返し観測を通して、GPS 観測方法、データ回収方法、メンテナンス手法及びデータ管理方法等についての技術移転が行われた。PHIVOLCSは2013年にブルサン火山に3カ所、2014 年にはタール火山に3カ所のGPS観測点を新設し、2010 年度に供与されたリアルタイム解析システムにて、データ処理を開始した。このことは、GPS観測およびリアルタイム解析に関する技術移転が順調に行われたことを示す好例である。

一方、火山性地殻変動解析支援ソフトウェア(英語版, MaGCAP-V)を PHIVOLCS に供与し、同ソフトウェアを用いた解析に関する技術指導研修を PHIVOLCS 本部で2回実施した。このソフト提供と研修は、マヨン火山で実施されていた GPS 連続観測の結果が変動源推定に役だてられていなかったことを問題視した結果である。上述の繰り返し観測のデータ解析はこのソフトウェアを用いて行われた。また、2014 年12月には、マヨン火山周辺で実施している GPS 繰り返し観測、連続観測の詳細、データの変換方法、解析結果から MaGCAP-V で使用するデータファイルの作成方法について講義を行い、キャンペーン観測とそのデータ解析が今後も継続して実施されるための技術移転を完成させた。

iii) 火山電磁気観測

電磁気学的連続観測によりタール火山の噴火予測精度を向上を目指す。特にマグマの上昇に起因する全磁力変化、3成分磁力データを用いた地磁気変換関数および電場データも組み合わせた

MTインピーダンスの変化を監視し、山体構造モデルから推定される基準値を超えた変動が観測された場合に最終的にアラートを発信するシステムを構築する。頻繁に噴火を繰り返してきた火山ではマグマの通り道が確保されており、地殻変動や地震活動をほとんど伴わずに噴火に至る場合があるがそのような場合でも全磁力測定によりマグマの上昇を熱異常として捕捉できる可能性が高いと考えられている。

タール火山に全磁力およびULF帯の3成分(東西、南北、上下)磁場および2成分電場(東西、南北)測定装置を設置した。全磁力測定データから、山体の熱的な状態、特にマグマや熱水の上昇による消磁という現象の監視を行なう。ULF帯の電磁場観測から、周波数ごとのMTインピーダンス等の連続監視を行なう。さらに山体の電磁気学的構造モデルの構築のため、日本から機材を持ち込み広帯域および可聴帯域電磁探査(MT探査)を実施した。さらに地磁気くりかえし測量および岩石物性測定のためのサンプル採取を実施した。

平成 22 年度に予定どおりタール火山に3台の全磁力測定装置およびULF帯の3成分(東西、南北、上下)磁場・2成分電場(東西、南北)測定装置を設置し、テレメータを開始した。平成22年度下期には、北海道大学の機材を臨時に持ち込み、広帯域および可聴帯域の電磁構造探査2測線を火山島で実施し、良好なデータを得る事に成功した。平成23年度にテレメータ環境の改善およびデータ転送ソフトウェアの改良(データの高圧縮化、データ転送タイミングの調整等)を実施し、常時監視に最低限必要なデータは PHIVOLCS まで転送されるようになった。



3 成分磁力計埋設状況

オーバーハウザー全磁力測定装置の設置

平成 23 年度下期は引き続き広帯域および可聴帯域電磁探査を実施し、Volcano 全体を覆う良好なデータを得る事に成功した。同時に岩石の磁気的性質測定のための定方位岩石サンプリングを実施した。またタール湖および火口湖の湖水の電気伝導度測定を実施した。

平成24年度上期には、22, 23年度に実施した電磁探査の結果から3次元的な電気伝導度構造が明らかになってきた。この結果、山体に比較して非常に大きな熱水だまりと思われる構造を同定することに成功した。

平成 25 年度はデータ転送ソフトウェアの改良を実施し、これまで全磁力のデータセットは一日1ファイルであったのを1時間1ファイルごと作成・転送するよう変更した。これは緊急時の全磁力変化の時間スケールが1日程度である事を考慮したもので、従来の転送タイミングでの異常検出の見逃しを防ぐためである。

平成 26 年度は、タール火山島では観測点周辺で毎年野焼きが行われ、時には観測装置にダメージを受ける事があるため、観測機器周辺にコンクリートで植生を防ぐための対策を実施するとともに、電極、電線などをより深く埋設しなおした。さらにデータ収録ソフトの冗長性を高くする改良を行った。

技術移転の状況

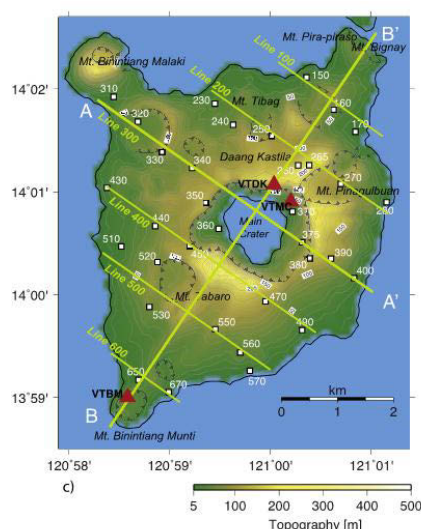
平成22年 11 月および平成23年 3 月の計測装置設置および広帯域および可聴帯域電磁探査の期間中に、電磁気データ解析の基礎およびくり返し磁気測量のデータ処理法について PHIVOLCS 電磁気チームに対して指導を行った。

平成23年度はデータ収録システムについて、日本から遠隔でソフトウェアのアップデートを行い、電子メールにてフィリピン側にメンテナンス等の技術移転を実施した。データ測定についても、各観測点の差分を用いて、磁気異常の時間変化を抽出する方法について PHIVOLCS 電磁気チームに対して指導を行った。さらに平成23年度国費留学生に地球規模枠の大学推薦として東海大学から PHIVOLCS の研究者が1名応募し、文部科学省から採択の連絡を受け、10月から博士課程に入学した。平成24年度末現在タール火山の電磁気学的研究により学位取得を目指している

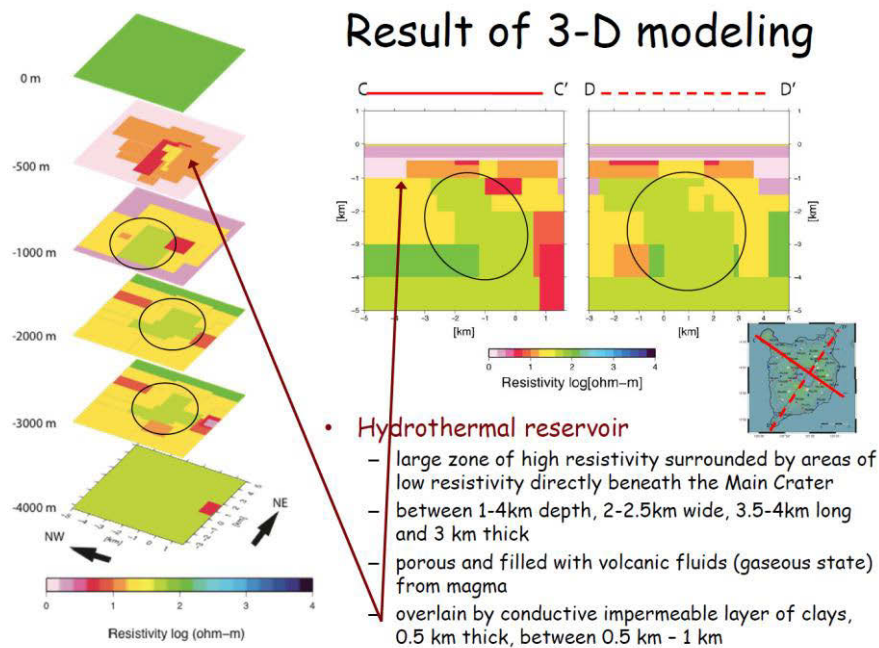
平成 25 年度はPHIVOLCSから受け入れた研究員の学位論文提出に向けた指導を行ない、無事平成 26 年3月に博士(理学)を取得し、帰国した。これによりフィリピンにおける初の火山電磁気学での学位取得者となった。

当初計画では想定されていなかった新たな展開として、平成23年度に本地球規模枠で国費留学生を獲得できた事は大きな喜びである。現在、火山電磁気学を専門とする研究者はフィリピンにおらず、本留学生がその第一号となる。地震、測地(GPS)に続き、電磁気という新たな切り口での火山監視技術の定着は将来の噴火予測精度向上に大きく資するだけでなく、東南アジアにおける新たな研究領域をも開拓するものであろう。た平成23年度に JICA 予算で追加調達できた可搬型磁力計を用いて、固定点だけでなく火山島全域の磁気測量を定期的に繰り返し実施する事が可能となった。これにより面的な異常の時間変化を推定する事が可能となり、マグマの上昇等に関する新たな知見を得る事が可能になると考える。

日本でもほとんど行われていない3成分磁力計と全磁力計を併用する電磁気観測体制を平成 22 年度に構築することができた。地磁気―地電流(MT)インピーダンスの火山での連続監視では、タールの電磁環境が極めて良好である事が平成23年 3 月の探査で判明し、日本ではまだ実例の無い10%程度の電気伝導度構造変化を抽出できる可能性を見出す事ができた。また平成22, 23年度の両年度に実施した広帯域および可聴帯域電磁探査の結果、タール火山島の3次元フォワードモデルによる電気伝導度構造が概ね判明した。少し詳しく述べると、火山島の下に極めて大きな(2ー2.5km x 3.5ー4km、厚さ3km)の熱水だまりと考えられる相対的に高比抵抗の領域を同定する事に成功した。そしてその上部に厚さ数百メートルのキャップロックと考えられる低比抵抗層が分布している事が判明し、極めて水蒸気爆発を起こしやすい構造である事が明らかとなってきた。



平成 23 および 24 年度に実施された広帯域電気・電磁探査の観測測線。火山島のほぼ全域を覆うような観測を実施する事ができた。



求められた3次元電磁構造。巨大な熱水溜りと思われる構造が発見された。

(2)研究成果の今後期待される効果

i) 火山地震・空振観測

タール火山とマヨン火山に設置された広帯域地震計および空振計のデータはリアルタイムで PHIVOLCS 本部に伝送され、これらの火山の活動監視に活用されている。さらに地震・空振・電磁気・GPS のリアルタイムデータの比較表示をウェブにより閲覧できるシステムを構築したことにより、多項目データを用いてこれらの火山における噴火の前兆現象をよりの確に捉えることが可能となった。プロジェクトにより開発・導入された火山監視システムは、これら2つの火山だけでなく他の火山の監視にも活用されており、PHIVOLCS による持続的かつ発展的な維持が期待できる。さらにタール火山で発生した低周波地震や火山構造成地震の解析、さらにマヨン火山で発生した水蒸気爆発に伴う超長周期地震の解析により、これらの火山のマグマシステムに関する理解が進んだ。これらの成果は、両火山の噴火災害リスクの評価や噴火活動予測を行うための基礎的知見を提供している。

ii) 火山 GPS 観測

本プロジェクトで整備したリアルタイム解析システムには、PHIVOLCS が独自に展開した GPS 観測網のデータを統合することが可能で、今後も PHIVOLCS の火山活動監視能力の向上が期待できる。

また、本プロジェクトで整備した観測網で蓄積されるデータを用い、供与した地殻変動解析ソフトウェアを活用することで、次のマグマ噴火の準備を進めるマヨン火山のマグマ蓄積過程を評価することや、タール火山における水蒸気爆発などの前兆現象を評価していくことが可能になる。

iii) 火山電磁気観測

電磁気学的な3次元構造探査の結果を過去の噴火史を比較すると、これまで山頂噴火→山腹噴火→山頂噴火→山腹噴火と4回のサイクルが有史以来報告されているが、新しい見方として、熱水だまりへの熱水の充填機構を考慮し、山頂噴火と山腹噴火の組み合わせを1つの大きな噴火サイクルと考えたほうが合理的とのモデルを論文化した。将来の噴火様式を推定する上の新

たな知見と考えている。

4. 4 防災情報の発信と利活用推進

(1)研究実施内容及び成果

i) 簡易耐震診断

ポータルサイトのコンテンツのひとつである簡易耐震診断ツールの開発を実施した。H22 年度は、簡易耐震診断ツール開発のためフィリピンの住宅の現地調査を実施した。現地調査を通して、施工状況(配筋、ブロック組積、屋根施工方法)、また市役所での建築許可制度に関して現状を把握することができた。また PO 裁量経費によって「実大フィリピン型コンクリートブロック造振動台実験」を実施した。目的はフィリピンの庶民生活の地震安全性の向上を図るため、フィリピンの一般的なコンクリートブロック造の耐震性能と挙動特性把握のためのデータを取得することにより簡易耐震診断ツールの開発、また同時に地震時の倒壊過程の映像を撮影することにより安全な建物の普及に向けた意識向上ツールとして活用することにある。現地調査を通して、フィリピンでは、コンクリートブロック(CHB: Concrete Hollow Block)組積造が主たる建設工法であり、建築基準に則っていない、住民や現地職人によって建設される「ノンエンジニアド住宅」が多いことが分かった。防災科学技術研究所(つくば)の大型振動台を使用し、フィリピンの庶民住宅を再現したコンクリートブロック造住宅(3.6x3.6xH3.0m)2棟、建築基準適合モデル(モデル A)と建築基準不適合モデル(モデル B)の比較倒壊実験を平成 23 年 2 月 23-24 日の 2 日間実施した。この結果、耐震性能の指標である面内せん断クラックが JMA 神戸 100%の加振によって建築基準不適合モデルに発生した。このことから建築基準不適合モデルは地震時に大きな被害でできる可能性がある。また妻壁の脆弱性が明らかになり、一般住宅の耐震診断が必須であると再認識した。



写真左：No. 7 加振時状況（東南方向より）モデル B の妻壁面外崩壊。
写真右：No. 7 加振後状況（北西方向より）加振後、モデル A に 4 トンの積載荷重設置風景。

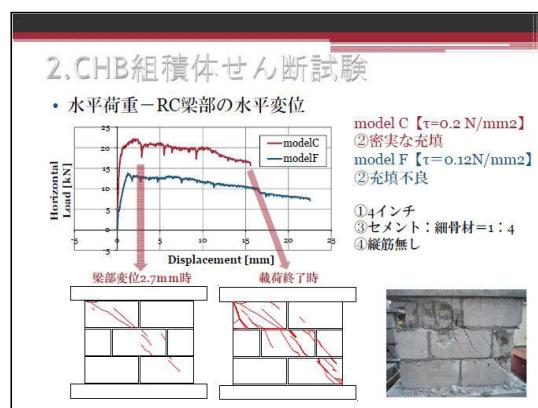


写真左：No. 10 加振後状況（東南方向よりモデル B）面外壁の大きな損傷および崩落。
写真右：No. 12 加振後状況（東南方向より）モデル B 全壊、モデル A は面外崩壊、面内にせん断クラック発生するものの崩壊せず。

H23 年度は、簡易耐震診断ツール開発に向けて、日本の木造の耐震診断として使用されていた「我が家の耐震チェック」をベースとして、フィリピンのコンクリートブロック造に適応するように新規開

発が開始した。これまで現地調査や、22年度の「実大フィリピン型コンクリートブロック造振動台実験」を通して、フィリピンでのコンクリートブロック造の特徴が把握できてきたことにより、耐震診断のチェック項目が明確になってきた。簡易耐震診断ツールの概要が日本側(建築グループ参加研究者)、フィリピン側(PHIVOLCS、ASEP)での協議の末、決定した。耐震診断での必要耐力の基準は、フィリピン建築基準に準ずるため ASEP(フィリピン構造設計者協会)が開発に参加することとなった。簡易耐震診断ツールとして①家の12項目耐震チェック、②簡易耐震診断ソフトウェアである。耐震診断法の精度を高めることを目的とし、「フィリピン型コンクリートブロック(CHB)組積造せん断力実験」を実施し、様々な施工状態のブロック組積造のせん断強度のデータを取得した。また木造住宅の簡易耐震診断の必要性和方向性を明らかにするためミンダナオ島の庶民木造住宅地の調査を実施した。「家の12項目耐震チェック」のコンクリートブロック住宅、木造住宅のドラフト版の作成を行い、PHIVOLCS、ASEPと協議を重ねた。

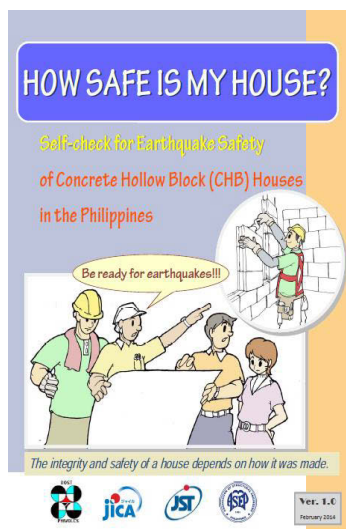
H24年度は、簡易耐震診断に関してこれまでの現地調査、文献調査、実験結果を基に診断に必要な診断項目や各項目の係数を決定し、ソフトウェアのプログラミングを開始した。必要耐力(地盤条件、建物重要度係数等)は、フィリピン建築基準構造仕様規定に準じて簡易化し、建物保有耐力は、壁量、壁配置バランス、床剛性、劣化度係数等によって計算する。「フィリピン型コンクリートブロック(CHB)組積造せん断力実験」によって、コンクリートブロックの空洞部へのモルタルの施工状況(充填不良)により基準(密実な充填)の50%程の強度しかでないことがわかった。これらのデータを基に壁耐力の係数を決定した。



フィリピン型コンクリートブロック (CHB) 組積造せん断力実験

H25年度は、家の12項目耐震チェックと簡易耐震診断ソフトウェアの二つの耐震診断ツールのドラフト版を、10月15日に発生したボホール島地震による実際の被害に適用して有効性をテストした。実際の被害状況との比較により、診断項目や各種係数の検討を行い、現状に合うような改善を行った。12項目耐震チェックの名称を「How safe is my house?」に決定し、2月に PHIVOLCS でメディア発表を行い、PHIVOLCS のホームページ上での一般公開を開始した。簡易耐震診断ソフトウェアは、ボホール島での調査を基に各種係数の変更を行い、3月18日、19日に Region 1,2,3 を対象とした第一回の普及ワークショップをパンパンガ市にて開催した。州政府のエンジニアに試用してもらい、更なるフィードバックを得て、改善を行っている。尚、簡易耐震診断ソフトウェアの名称を「Quick Quake Quality check of your house (QQQ)」に決定した。

H26年度は、簡易耐震診断ツールの普及活動を実施している。第1回のパンパンガ市以降、5月20日、21日には、ボホール島のタグビララン市にて第2回目の普及ワークショップを開催した。Region 6,7,8 を対象として、約50名の州や、市のエンジニアが参加し、12項目耐震チェックと簡易耐震診断ソフトウェアの使い方のレクチャーを1日目に行い、2日目にはフィールドトレーニングとして、実際の建物を測量し、耐震性のチェックを行った。9月23日、24日にはミンダナオ島のダバオ市にてミンダナオ島を対象として、また10月27日、28日にはマニラで、メロマニラと Region 5 を対象として、普及ワークショップを開催した。



Self-check for Earthquake Safety of Concrete Hollow Block (CHB) Houses in the Philippines

QUESTION 1 Who built or designed my house?

None
A: Built or designed by a licensed civil engineer/architect. - 1
B: Not built by a licensed civil engineer/architect. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This question refers to the person who supervised the building of the house.

QUESTION 2 How old is my house?

None
A: Built in or after 1992. - 1
B: Built before 1992. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if your house was built under more recent earthquake-resistant building standards.

QUESTION 3 Has my house been damaged by past earthquakes or other disasters?

None
A: NO or YES but repaired. - 1
B: YES but not yet repaired. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the house sustained structural damage and had undergone repairs.

QUESTION 4 What is the shape of my house?

None
A: Regular (symmetrical, rectangular, or bow-typed). - 1
B: Irregular or complicated. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks the shape of your house which influences behavior during strong ground shaking.

QUESTION 5 Has my house been extended or expanded?

None
A: NO or YES but supervised by a civil engineer/architect. - 1
B: YES but not supervised by a civil engineer/architect. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if any extension construction was properly executed and correctly attached to the original structure.

QUESTION 6 Are the external walls of my house made of 6-inch (150mm) thick CHB?

None
A: YES, it is 6-inch CHB. - 1
B: NO, it is thinner than 6-inch. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the standard size of at least 6-inch CHB was used.

Self-check for Earthquake Safety of Concrete Hollow Block (CHB) Houses in the Philippines

QUESTION 7 Are steel bars of standard size and spacing used in walls?

None
A: YES (10mm diameter, tied and spaced correctly). - 1
B: NO, fewer and smaller than 10mm. - 0
C: None or unknown. - 0

This checks if standard size and spacing of steel bars were used as reinforcement.

QUESTION 8 Are there unsupported walls more than 3 meters wide?

None
A: NONE, all walls are less than 3m wide. - 1
B: YES, at least one unsupported wall is more than 3m wide. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the wall is properly supported from being blown.

QUESTION 9 What is the gable wall of my house made of?

None
A: Light materials, properly anchored CHBs or no gable wall. - 1
B: Not properly anchored CHBs, bricks or stones. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the gable wall is properly supported by sufficient steel bars or a steel beam.

QUESTION 10 What is the foundation of my house?

None
A: Reinforced concrete. - 1
B: Stone or unreinforced concrete. - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the foundation is properly constructed to support the walls.

QUESTION 11 What is the soil condition under my house?

None
A: Hard rock or stiff soil. - 1
B: Soft (medium or medium-soft). - 0
C: It is not clear or unknown. - 0

This checks if the house was built over a stable or detailed ground.

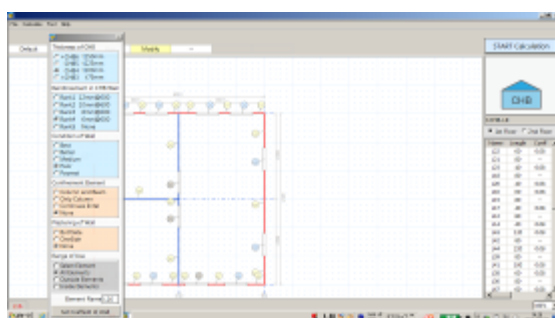
QUESTION 12 What is the overall condition of my house?

None
A: Good condition. - 1
B: Poor condition. - 0
C: It is not clear. - 0

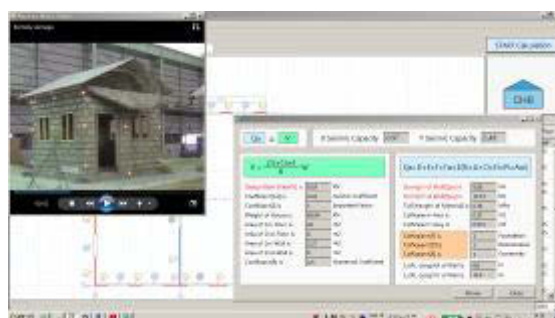
This describes the overall physical state of the house and checks defects or any deterioration.

Your information
Name: _____ Address: _____

12 項目耐震チェック「How safe is my house?」



簡易耐震診断ソフトウェア作図画面



診断結果画面



簡易耐震診断セミナー（ソリドゥム所長）



簡易耐震セミナー（防災科研今井研究員とフィリピン構造技術者協会イソン技師）

ii) 東日本大震災フィリピン人津波被災者インタビュー

2011年3月11日に東日本大震災が発生した。我々は被災者の中にフィリピン人が少なからずいることを知り、ビデオインタビューを計画した。母国の人々に津波の体験を伝えてもらうことと、PHIVOLCS の研究者達に被害の全体像を知ってもらうことが目的である。PHIVOLCS スタッフ 10

名が7パーティーに分かれて6月下旬から8月下旬までの2カ月間に北は岩手県久慈市から南は福島県相馬市までの各地を、防災科研職員とともに訪問し、合計53名の被災者にインタビューを行うことができた。集められたインタビューを整理し、まずタガログ語の原稿起こし、その日本語訳、DVDの試作を行った。

平成24年度にはDVD編集を進めると同時に、50の体験談のうち、特に印象深いもの2つを選び出して漫画化した。マンガはPHIVOLCSの地震課のスタッフが描いた。2編のマンガをPHIVOLCSが出版し、フィリピンのメディアに発表した。平成25年度にはさらに2人の体験談をマンガ化した。震災から2年後に東北の被災地を再訪し、インタビューした被災者たちに完成したマンガを手渡し、報告した。

平成26年度は東日本大震災フィリピン人津波被災者の体験談マンガを、PHIVOLCSの行っている学校や自治体での防災教育の現場で活用した。既に2000部以上が増刷され配布された。

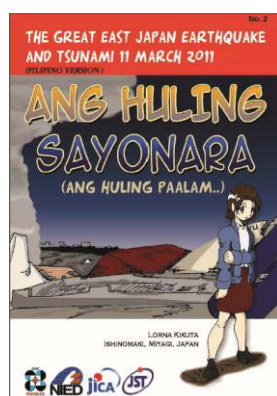
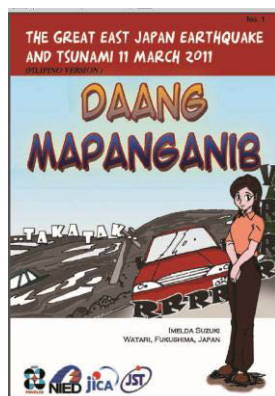
平成26年度は防災教育現場でのマンガの活用を継続するとともに、インタビュービデオのDVDによる出版を行う。



東日本大震災のフィリピン人被災者ビデオインタビューの様子



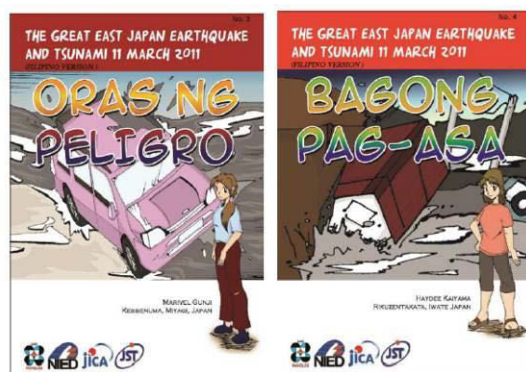
津波被災体験談の漫画化



マンガ化された2つの津波体験談(1),(2)



PHIVOLCSでのマンガのプレス発表



マンガ化された津波体験談 (3) (4)



主人公たちへの報告・手渡し



メディアに大きく取り上げられたマンガ

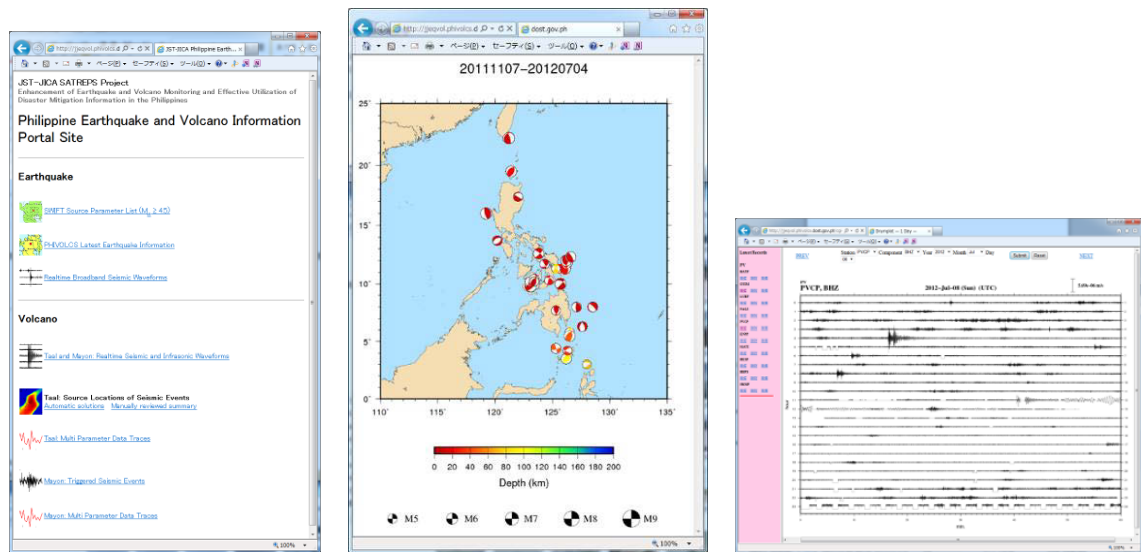


教育現場での津波被災者マンガの活用

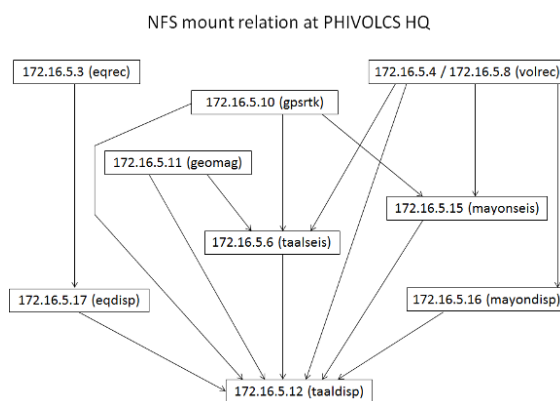
iii) 防災情報ポータルサイトの構築

本プロジェクトで新たに得られる情報の出口として「地震火山防災情報ポータルサイト」を PHIVOLCS のホームページの中に構築する。H23 年にまず広帯域地震観測と高度即時震源解析、およびリアルタイム火山観測データと解析結果にアクセスできるような、ポータルサイトのプロトタイプを構築し、試験運用を始めた。

地震火山情報ポータルサイトはプロトタイプのコンテンツを引き続き充実させるとともに、SATREPS ポータルサイトの PHIVOLCS のホームページ内の位置づけと役割分担を協議・決定し、翌年度からのサイト構築に備えた。



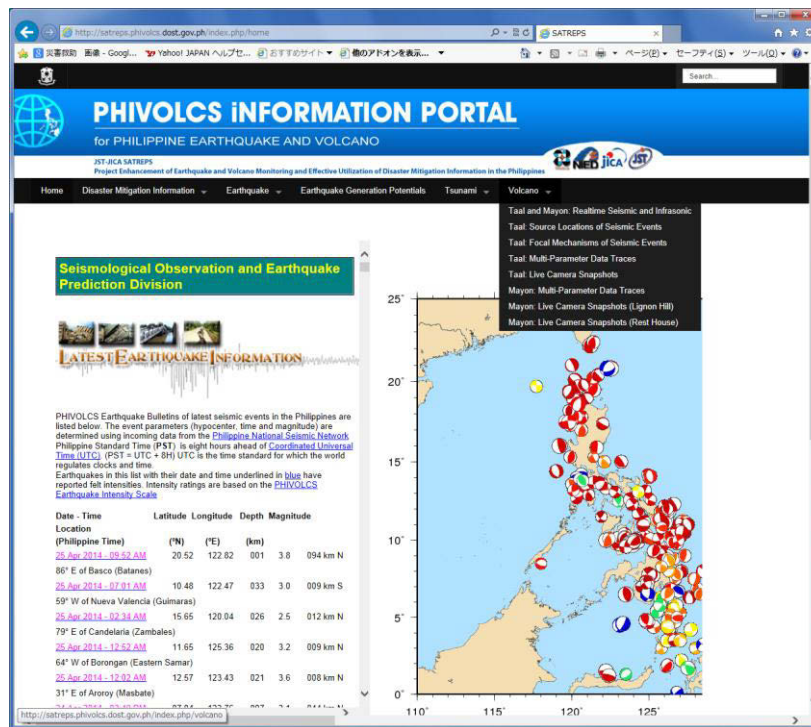
プロトタイプポータルサイトのコンテンツの一部（表紙、震源メカニズム、地震波形）



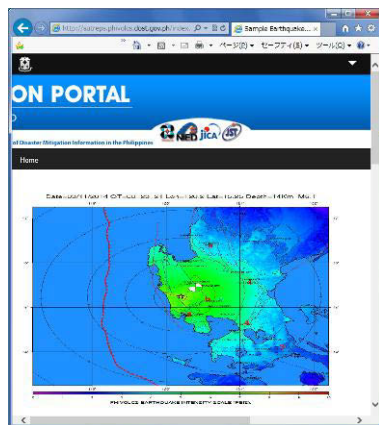
PHIVOLCS ポータル内に位置付けられた SATREPS 地震火山ポータルサイトの設計

H25 年には PHIVOLCS の情報発信に融合する形でポータルサイトを作成した。フィリピン政府機関の標準テンプレート、oomla 3.2 コンテンツマネジメントシステム、Linux-Apache-MySQL-Php バックエンドを用いてサイトを構築した。一般利用者と登録利用者を区別し、一般利用者向けには解釈の難しい生データは公開しないなどガイドラインを決め、選択された内容のみを掲載することとした。一部のコンテンツが未整備であるが公開の準備が整った。

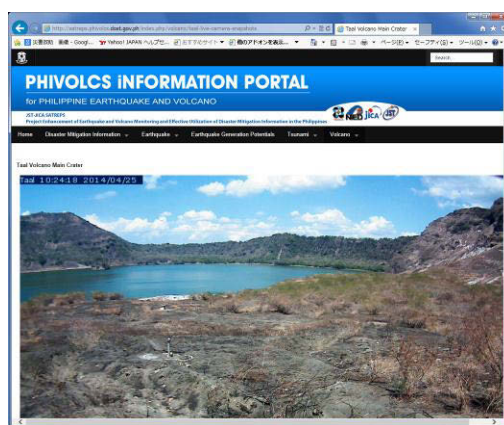
<http://satreps.phivolcs.dost.gov.ph>



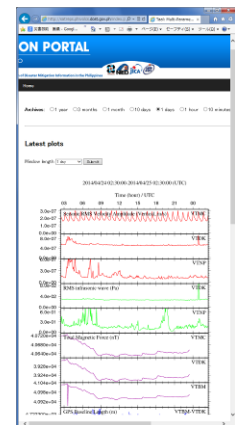
ポータルサイトのホームページと地震メカニズム図 <http://satreps.phivolcs.dost.gov.ph>



計測震度と震度予測



火山ライブカメラ映像



火山データ

平成 26 年度はポータルサイトのコンテンツをさらに充実・改良させるとともに、9月に OCD、公共事業省をはじめとする各機関の防災担当者向けの地震津波火山ポータルサイトセミナーを開催した。地震・火山リアルタイム情報を表示するためのマルチディスプレイシステムを、PHIVOLCS の玄関ロビーに設置した。PHIVOLCS 職員が毎日の登退庁時に情報を目にすることができるとともに、頻繁に訪れる団体の見学者への説明や、イベント発生時のプレスコンファレンスに活用される。



PHIVOLCS 玄関ロビーの地震・火山情報表示システム。単一画面としても使える。

(2)研究成果の今後期待される効果

I) 簡易耐震診断

12 項目耐震チェックと簡易耐震診断ソフトウェアの簡易耐震診断ツール普及ワークショップを通して、政府系エンジニア、民間エンジニアの両ツールへの期待の大きさを実感した。同ツールは、これまでエンジニアと距離のあった工学的配慮のない「ノンエンジニアド建築」に対して、エンジニアとの接点を持つための第一歩としての役割を担うものになると見込まれる。今後、これらの簡易耐震診断ツールは、現状のものを手始めにフィリピン内で更にニーズに合わせて改良され、普及していくことが期待される。

ii) 東日本大震災フィリピン人津波被災者インタビュー

本課題で製作したマンガと DVD は今後とも PHIVOLCS によるフィリピンでの津波防災教育に活用され続ける。現在ユネスコ政府間海洋学委員会国際津波情報センターの依頼で、4編のマンガを英語化する予定である。英語化と同時に日本語化も計画している。災害の体験を語り継ぐ手段として漫画は非常に優れているため、今後も不幸にして大きな災害が発生した場合は、被災者へのインタビューを行いマンガとして残すことは価値がある活動と言える。

iii) ポータルサイト

本プロジェクトで新たに収集されるようになった地震・火山リアルタイム観測情報ならびに地震発生ポテンシャルや防災教育ツールなどの情報と、PHIVOLCS がこれまでに発信してきた各種防災情報を発信する一つの手段が、新たに作成した地震火山防災ポータルサイトである。プロジェクト終了後は PHIVOLCS が独自に発信情報を充実させ、PHIVOLCS のポータルサイトの中に埋め込み、統合して発展させる。

一方、本プロジェクトで得られるようになった新たな地震・火山監視データと解釈は、ポータルサイトからの発表とは別に、PHIVOLCS の地震・火山情報(ブレチン)としてメディア等を通じて、地震や火山活動活発化のようなイベントのたびに公表されている。監視能力強化プロジェクトの成果としては、ポータルサイトよりも、むしろこちらのほうがずっと重要である。地震発生ポテンシャル評価は、基礎研究であり、成果の発表手段は一義的には研究論文となる。簡易耐震診断と津波被災体験漫画は

ポータルサイトからの公表とは別に、各地でエンジニアや自治体職員、学校等で繰り返しセミナーを開催している。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 12 件(出版済)+17 件(印刷中))

Maeda, Y., M. Takeo, and T. Ohminato, A waveform inversion including tilt: method and simple tests, *Geophys. J. Int.*, 184, 907-918 doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04892.x, 2011

Maeda, Y. and H. Kumagai, Effects of water domains on seismic wavefields: A simulation case study at Taal volcano, Philippines, *Earth Plant. Space*, 65, 85-96, 2013..

Alanis, P.K.B., M. Harada, J. P. Sabit, J. M. Cordon, Jr., J. Zlotnicki, Y. Yamaya, A. Takeuchi, Y. sasai, F. Fauquet, T. Nagao and Y. Okada, An Outlet for a Large Hydrothermal Reservoir beneath Taal Volcano (Philippines): Geomagnetic and Topographic Survey of the Main Crater Lake, *Bull. Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ.*, 34, 17-27, 2013.

Sasai, Y., Geomagnetic dip changes in the 1950 eruption of Izu-Oshima Volcano, Central Japan: Magnetic source inversion using genetic algorithm, *Bull. Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ.*, 34, 29-41, 2013.

Kumagai, H., R. Lacson, Y. Maeda, M. S. Figueroa II, T. Yamashina, M. Ruiz, P. Palacios, H. Ortiz, and H. Yepes, Source amplitudes of volcano-seismic signals determined by the amplitude source location method as a quantitative measure of event size, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 257, 57-71, 2013.

Maeda, Y., H. Kumagai, R. Lacson, M. S. Figueroa II, and T. Yamashina, Source process of long-period seismic events at Taal volcano, Philippines: Vapor transportation and condensation in a shallow hydrothermal fissure, *J. Geophys. Res.*, 118, doi:10.1002/jgrb.50205, 2013.

Maeda, Y., and H. Kumagai, An analytical formula for the longitudinal resonance frequencies of a fluid-filled crack, *Geophys. Res. Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.51002, 2013.

Tsutsumi, H. and Perez, J. S., Large-scale active fault map of the Philippine fault based on aerial photograph interpretation, *Active Fault Research*, 39, 29-37, 2013.

Yamaya, Y., P.K.B. Alanis, A. Takeuchi, J.M. Cordon Jr., T. Mogi, T. Hshimoto, Y. Sasai, and T. Nagao, A large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) revealed by magnetotelluric resistivity survey: 2D resistivity modeling, *Bulletin of Volcanology*, 75 (7), 729, doi:10.1007/s00445-013-0729-y, 2013.

Alanis, P.K.B., Y. Yamaya, A. Takeuchi, Y. Sasai, Y. Okada and T. Nagao, A large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) revealed by magnetotelluric observations and its implications to the volcanic activity, *Proc. Japan Acad. Ser B* 89 (8), 383-389, 2013

Kumagai, H., Y. Maeda, M. Ichihara, N. Kame and T. Kusakabe, Seismic moment and volume change of a spherical source, *Earth Plant. Space*, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-7, 2014

Kumagai, H., R. Lacson Jr., Y. Maeda, M. S. Figueroa II, and T. Yamashina, Shallow S wave attenuation and actively degassing magma beneath Taal Volcano, Philippines, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061193, 2014.

Maeda, Y., H. Kumagai, R. Lacson, M. S. Figueroa II, T. Yamashina, T. Ohkura, and A. V. Baloloy, A phreatic explosion model inferred from a very long period seismic event at Mayon volcano, Philippines, *J. Geophys. Res.*, in press.

Bonita, J. D., H. Kumagai, and M. Nakano, Regional moment tensor analysis in the Philippines: CMT solutions in 2012–2013, *J. Disast. Res.*, in press.

Punongbayan, B. J. T., H. Kumagai, N. Pulido, J. D. Bonita, M. Nakano, T. Yamashina, Y. Maeda, H. Inoue, A. A. Melosantos, M. F. Figueroa, P. C. M. Alcones, K. V. C. Soriano, I. C. Narag, and R. U. Solidum Jr., Development and operation of a regional moment tensor analysis system in the Philippines: Contributions to the understanding of recent damaging earthquakes, *J. Disast. Res.*, in press.

Melosantos, A. A., K. V. C. Soriano, P. C. M. Alcones, J. U. Pantig, J. D. Bonita, I. C. Narag, H. Kumagai, and H. Inoue, Performance of broadband seismic network of the Philippines, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015., in press.

Tobita, M., H. Suito, T. Kobayashi, S. Kawamoto, M. Yamanaka, A. Suzuki, T. Enya, M. Honda, T. Imakiire, A. Luis, A. Pelicano, T. Bacolcol, and T. Ohkura, Continuous GPS Observations in Mindanao, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015, in press.

Perez J. F., H. Tsutsumi, Ma. T. Cahulogan, D. P. Cabanlit, Ma. I. T. Abigania and T. Nakata, Fault distribution, segmentation and earthquake generation potential of the Philippine fault in eastern Mindanao, Philippines, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015, in press.

Tsutsumi, H. J. S. Perez, J. U. Marjes, K. L. Papiona, and N. T. Ramos, Coseismic Displacement and Recurrence Interval of the 1973 Ragay Gulf Earthquake, Southern Luzon, Philippine, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015, in press.

Yasuda H. , T. Bacolcol, A. Daag, E. Bariso, E. Mitiam, J. Marjes, and T. Nakata, Philippine Fault in Ragay Gulf, southern Luzon, its geometry and structure, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015, in press.

Takagi, A., K. Fujiwara, T. Ohkura, A. C. Luis, Jr., A. V. Baloloy, S. Ando, E. Laguerta, and Ma. A. V. Bornas, Ground Deformation of Mayon Volcano Revealed by GPS Campaign Survey, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015, in press.

Hiroshi Imai, Akitoshi Nishimura, Angelito G. Lanuza, Henremagne C. Penarubia, Ronald S. Ison, Miriam L. Tamayo, Ishmael C. Narag, Renato U. Soridum Jr., Hiroshi Inoue, Junzo Sakuma, and Kenji Okazaki, Development of Practical Tools for Vulnerability and Safety Evaluation of Houses in the Philippines, *Journal of Disaster Research*, vol 10, No1, 2015., in press.

Hiroshi Imai, Chikahiro Minowa, Angelito G. Lanuza, Henremagne C. Penarubia, Ishmael C.

Narag, Renato U. Soridum Jr., Kenji Okazaki, Tatsuo Narafu, Toshikazu Hanazato, and Hiroshi Inoue, A Full-Scale Shaking Table Test on Philippine Concrete Hollow Blocks (CHB) Masonry Houses , Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

Alanis, P. K., Y. Sasai and T. Nagao, Electromagnetic observations at Taal Volcano, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015. in press

Yohko Igarashi, Toshihiro Ueno, Kenji Nakata, Vilma C., Hernandez-Grennan, Joan L. Cruz-Salcedo, Ishmael C. Narag, Bartolome C. Bautista, and Takeshi Koizumi, Building a tsunami simulation database for the tsunami warning system in the Philippines, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

Hiroshi Inoue, Zhengying Fan, Melchor Lasala, Robert Tiglao, Bartolome Bautista, Debbie Rivera, and Ishmael Narag, Development of Seismic Intensity Meter for the Philippines, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

Melchor Lasala, Hiroshi Inoue, Roberto Tiglao, Zhengying Fan, Bartolome Bautista and Ishmael Narag Establishment of Earthquake Intensity Meter Network in the Philippines, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, submitted.

ML Martinez-Villegas, RU, Solidum, Jr., H Inoue, H Imai, A Lanuza, H Penarubia, M Pagtalunan, MLP, Melosantos, J Salcedo, I Narag, M Lasala, MAV Bornas, P Delos Reyes, and B Bautista Filipinos in Japan: Narratives of Experience from the 11 March 2011, Great East Japan Earthquake and Tsunami, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

Joan L. Cruz-Salcedo, Ma. Mylene L. Martinez-Villegas, Ester B., Garrido, Angelito G. Lanuza, Hiroshi Imai, Henremagne C. Penarubia, Hiroshi Inoue, Renato U. Solidum, Jr., Dissemination Strategy for Practical Tools for Vulnerability and Safety Evaluation of Houses in the Philippines, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

Ma. Mylene Martinez-Villegas, Lucille Rose Del Monte, Renato U. Solidum, Jr John Paul Fallarme, Monique Realis, Melcario Pagtalunan and Eumelia Belo Developing Manga-style Tsunami Information Materials Based on the 11, March 2011 Great East Japan Earthquake, Journal of Disaster Research, vol 10, No1, 2015, in press.

(2) 研修コースや開発されたマニュアル等

① 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

火山性地殻変動解析研修(2013-2014 2回)

津波セミナー(五十嵐、井上 2013.6)

UAV セミナー(井上 2013.10)

基礎地震学講義 (熊谷 2014.3.17-18, 2014.9.19)

簡易耐震診断ツール: 第1回普及ワークショップ(今井他 2014.3.18-19 パンパンガ)

簡易耐震診断ツール:第2回普及ワークショップ(今井他 2014.5.20-21 タグビララン)

簡易耐震診断ツール:第3回普及ワークショップ(今井他 2014.9.23-24 ダバオ)

簡易耐震診断ツール:第4回普及ワークショップ(今井他 2014.10.27-28 マニラ)

② 開発したテキスト・マニュアル類

火山性地殻変動解析支援ソフトウェア(MaGCApp-V)

IT 震度計設置運用マニュアル(2013 范、井上)

潮位データ転送・表示ソフトウェアマニュアル(2013 范、井上)

簡易耐震診断ツール1:家の 12 項目耐震チェック「How safe is my house?」

簡易耐震診断ツール2:耐震診断ソフトウェア「Quick Quake Quality check of your house (QQQ)」

高度即時震源解析手法の解析手順書(QUICK GUIDE: Source Parameter Determination Based on Waveform Inversion of Fourier Transformed Seismograms (SWIFT))

タール火山およびマヨン火山の観測ネットワークのオペレーションマニュアル (Multi-parameter observation network at Taal and Mayon volcanoes, Philippines)

高周波震源決定手法の解析手順書 (QUICK GUIDE: Manually plot Amplitude Source Location (ASL) method for TAAL)

(3)その他の著作物(総説、書籍など)

Matsumura, Y., 2011, Research on magma intrusion process at the 2006 Mayon volcano eruption, Graduation Thesis of Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 27pp, 2011

フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進にかかる地殻変動観測研究(第1年次), 今給黎哲郎, 平成 22 年度国土地理院調査研究年報, G11-12, 2011.

フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進にかかる地殻変動観測研究(第2年次), 今給黎哲郎, 西村卓也, 水藤尚, 平成 23 年度国土地理院調査研究年報, 85-86, 2012.

フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進にかかる地殻変動観測研究(第3年次), 今給黎哲郎, 西村卓也, 水藤尚, 小林知勝, 鈴木啓, 平成 24 年度国土地理院調査研究年報, 92-94, 2013.

フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進にかかる地殻変動観測研究(第4年次), 飛田幹男, 川元智司, 本田昌樹, 水藤尚, 小林知勝, 山中雅之, 今給黎哲郎, 平成 25 年度国土地理院調査研究年報, to be published, 2014.

安田大剛 2014, 音波探査記録からみたラガイ湾におけるフィリピン断層の横ずれ変位構造, 京都大学院理学研究科 修士論文

中村保彦 2014, フィリピン・ミダナオ島におけるフィリピン海プレートの収束解明, 高知大学院理学研究科 修士論文

(4)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 1件)

Kumagai, H., Seismological views on magmatic and hydrothermal processes beneath active volcanoes, EMSEV 2014, Warsaw, 2014.9

② 口頭発表 (国内会議 20 件、国際会議 23 件)

前田裕太・熊谷博之、3 次元の湖を考慮した近地長周期理論波形の差分計算:フィリピン・タール火山への適用、地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

長尾年恭・楠本成寿、非等方均質広域応力場中で単一球形マグマ溜りがつくるカルデラ形状、地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

長尾 年恭・笹井洋一・竹内 昭洋・山谷祐介・橋本武志・茂木 透・アラニス ポール、フィリピン・タール火山の電磁気学的モニタリング-JST/JICA による地球規模課題対応国際科学技術協力事業一、地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

今井弘、井上公、箕輪親宏、花里利一、檜府龍雄、岡崎健二、楠浩二、佐久間順三、「実大フィリピン型コンクリートブロック造振動台実験-実験の概要と結果-」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)構造IVC-2、P951-952、2011.08

山谷祐介、笹井洋一、竹内昭洋、茂木透、Alanis Paul、Cordon Juan Jr、橋本武志、長尾年恭、フィリピン・タール火山におけるMT 法比抵抗構造探査、地球電磁気惑星圏学会 2011 年大会、神戸、2011.11

今井弘、井上公、箕輪親宏、Angelito G. Lanuza、Henremagne C. Penarubia、Renato U. Solidum、岡崎健二、檜府龍雄、佐久間順三、楠浩二、花里利一、「Shaking Table Experiment for Philippine Full-Scale Concrete Hollow Blocks (CHB) Masonry Houses、ASEP 50th Anniversary International Convention and Exposition、マニラ、2011.9

MLMartinez-Villegas, RUSolidum, HInoue, BC Bautista, MAVBornas, PJDelosReyes, HImai, ALAnuza, MLAsala, MLOPMelosantos, ICNArag, MDPagtakunana, JCSalcedo, HPenarubia, Filipinos in Japan: Experiences and Lesson Learned from the 11 March 2011 Earthquake and Tsunami, The Annual Geological Convention of the Geological Society of the Philippines, December 2011

今井弘、花里利一、中谷朱希、Angelito G. Lanuza、「Shaking Table Experiment for Philippine Full-Scale Concrete Hollow Blocks (CHB) Masonry Houses」、International Symposium for Sustainability by Engineering at MIU、三重、2011. 12

Hiroyuki Tsutsumi and Jeffrey S. Perez, 2011, Along strike variation of seismic behavior of the

Philippine fault based on historical- and paleo-seismicity, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, 2011.12.

今井弘、井上公、箕輪親宏、花里利一、檜府龍雄、岡崎健二、楠浩二、佐久間順三、西村彰敏、中谷朱希、「フィリピン庶民住宅の耐震性向上のための実験研究 その1 プロジェクト概要と現地実態調査」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)構造Ⅳ、23497、2012.09

中谷朱希、花里利一、井上公、今井弘、横尾達平、「フィリピン庶民住宅の耐震性向上のための実験研究 その2 コンクリートブロックの材料特性および壁体のせん断試験」、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)構造Ⅳ、23498、2012.09

檜府龍雄、宮田伸明、佐久間順三、今井弘、中村隼人、保坂公人、岡本隆之輔、「開発途上国における建築許可制度の枠組み及び運用実態に関する調査研究 その2 フィリピン1、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)建築社会システム、8062、2012.09

井上公「津波直前警報のための超低電力無線潮位観測実験」地球惑星科学連合 2012 年大会、千葉、2012.5

M.L. Martinez-Villegas¹, INOUE, Hiroshi^{2*}, R.U. Solidum, Jr¹, H. Imai², B.C. Bautista¹, M.A.V. Bornas¹, P.J. Delos Reyes¹, A. Lanuza¹, M. Lasala¹, M.L.O.P. Melosantos¹, I.C. Narag¹, M.D. Pagtalunan¹, J.C. Salcedo¹, H. Penarubia¹, Lessons Learned from the 11 March 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami: Perspectives from Filipinos in Japan, JpGU meeting, 2012, Chiba, Japan, 2012.5

前田裕太、熊谷博之、Rudy Lacson, Melquiades S. Figueroa II., 山品匡史、フィリピン・タール火山における低周波地震から示唆される浅部熱水系の活動、地球惑星科学連合 2012 年大会、千葉、2012.5

堤 浩之・Jeffrey S. Perez, 2012, フィリピン断層から発生する地震の地域的多様性—大地震からクリープ変位まで—, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 千葉, 2012.5

安田大剛・中田 高・植木俊明・小林俊孝・T. Bacolcol・E. Bariso・J. Marjes・R. U. Solidum, フィリピン断層帯ラガイ湾海底断層の詳細横ずれ変位構造, 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会, 京都, 2012.11

J. S. Perez, H. Tsutsumi, M. T. Cahulogan, D. Ishimura and D. Cabanlit, Tectonic Geomorphology and Paleoseismology along the Surigao Segment of the Philippine Fault, Northeastern Mindanao, Philippines, Geocon 2012, Makati, 2012.12

熊谷博之、Rudy Lacson、前田裕太、Melquiades Figueroa、山品匡史、Mario Ruiz, Pablo Palacios, Hugo Ortiz, Hugo Yepes, 高周波震源振幅を用いた火山性地震の規模指標、地球惑星科学連合 2013 年大会、千葉、2013.5

前田裕太、熊谷博之、流体で満たされたクラックの長軸モード振動周波数の解析式、地球惑星科学連合 2013 年大会、千葉、2013.5

堤 浩之・福島 洋・Jeffrey S. Perez・James J. Lienkaemper, 現地調査と合成開口レーダ干渉法によって明らかとなったレイテ島のフィリピン断層のクリープ変位、日本地球惑星科学連合 2013

年大会, 千葉、2013.5

H.IMAI, H.INOUE, C.MINOWA, A.G.LANUZA, H.C.PENARUBIA, I.C.NARAG R.U.SOLIDUM Jr., K.OKAZAKI, T.NARAFU, J.SAKUMA, K.KUSUNOKI, T.HANAZATO, A. NISHIMURA, Development of Practical Tools for Vulnerability and Safety Evaluation of CHB house of the Philippines, SE50EEE, Mar 2013

T. Imakiire, GNSS CORS and Reference Frame, Reference Frame in Practice, Manila, 2013.6

Kumagai, H., R. Lacson Jr., Y. Maeda, M. S. Figueroa II, T. Yamashina, M. Ruiz, P. Palacios, H. Ortiz, H. Yepes, Source amplitudes of volcano-seismic signals determined by the amplitude source location method as a quantitative measure of event size, IAVCEI 2013, 鹿児島, 2013.7

中村保彦・田部井隆雄・大倉敬宏・木股文昭・T. C. Bacolcol・E. Gunawan, フィリピン・ミンダナオ島におけるフィリピン海プレートの収束の解明, 日本測地学会第 120 回講演会, 立川, 2013.10

熊谷博之, 前田裕太, 市原美恵, 亀伸樹, 日下部哲也, 球状震源の地震モーメントと体積変化の再考察, 日本地震学会 2013 年度秋季大会, 横浜, 2013.10

Kumagai, H, Y. Maeda, M. Ichihara, N. Kame, T. Kusakabe, Volume source representations (1): Seismic moment and volume change of a spherical source, AGU Fall Meeting 2013, San Francisco, 2013.12

中田 高・井上 公・M. Cahulogan, D. J. Rivera, R. Lim, C. Pogay 2014, 小型 UAV と写真測量ソフトを用いた簡易地形計測ー2013 年ボホール地震断層の緊急調査を例にー, 日本地理学会 2014 春期学術大会, 2014.3

Alanis, P. K.B., Y. Yamaya, A. Takeuchi, J.M. Cordon, J.R., Puertollano, C.J. Clarito, T. Hashimoto, T. Mogi, Y. Sasai and T. Nagao, Implications to the volcanic activity of a large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) as revealed by magnetotelluric observations, IAVCEI 2013, Kagoshima, July 2014.

前田裕太、熊谷博之、Rudy Lacson、Melquiades Figueroa、山品匡史、大倉敬宏、Bornas Antonia、爆発地震の解析から示唆されるフィリピン・マヨン火山の水蒸気爆発モデル、地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

Takahiro OHKURA, Takao TABEL, Fumiaki KIMATA, Teresito C. BACOLCOL, Artemio C. LUIS Jr., Alfie PELICANO, Robinson JORGIO, Milo TABIGUE, Magdalino ABRAHAN, Eleazar JORGIO, Yasuhiko NAKAMURA, and Endra GUNAWAN, Plate Convergence and Block Movements in Mindanao Island, Philippines as Revealed by GPS Observation. International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, 2014.7, 松島

Maeda, M., H. Kumagai, R. Lacson, M. S. Figueroa II, T. Yamashina, T. Ohkura, A phreatic explosion model inferred from a very long period seismic event at Mayon volcano, Philippines, ASC 2014, asc2014-abs-039, Manila, 2014.11

Kumagai, H., R. Lacson Jr., Y. Maeda, M. S. Figueroa II, and T. Yamashina, Shallow actively degassing magma beneath Taal volcano, Philippines, ASC 2014, asc2014-abs-016, Manila,

2014.11

Bonita, J. D., H. Kumagai, Regional Moment Tensor Analysis in the Philippines: Comparative Study of CMT Solutions in 2012–2013, ASC 2014, asc2014-abs-005, Manila, 2014.11

Punongbayan, B. J. T., H. Kumagai, N. Pulido, M. Nakano, Y. Maeda, T. Yamashina, H. Inoue, A. A. Melosantos, M. Figueroa, P. C. M. Alcones, K. V. C. Soriano, J. D. Bonita, I. C. Narag, R. U. Solidum, Jr., Development of a Regional Moment Tensor Analysis System and Its Application to Major Events in the Pilippines, ASC 2014, asc2014-abs-049, Manila, 2014.11

Alanis, P. K. B., Y. Yamaya, A. Takeuchi, J. M. Cordon, Jr., J. Puertollano, C. J. Clarito, T. Hashimoto, T. Mogi, Y. Sasai, and T. Nagao, The implications of a large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) as revealed from magnetotelluric observations, the 11th Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) annual meeting, 28 Jul to 01 Aug, 2014, Sapporo, Japan (Oral Presentation)

Alanis, P. K., Y. Yamaya, A. Takeuchi, J. Cordon Jr., J. Puertollano, C. Clarito, T. Hashimoto, T. Mogi, Y. Sasai, T. Nagao, The implications of a large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) as revealed from magnetotelluric observations, Cities on Volcanoes 8, Sept 9–13, Yogyakarta, Indonesia, 2014.(Poster presentation)

Hiroshi Inoue, Bartolome C. Bautista, Ishmael C. Narag and Shoichiro Uchiyama¹, APPLICATION OF UAV PHOTOGRAMMETRY TO BUILDING EXPOSURE SURVEY FOR EARTHQUAKE RISK ASSESSMENT AND COASTAL TOPOGRAPHY MAPPING FOR TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT IN THE PHILIPPINES, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

Hiroshi Inoue¹, Zhengying Fan, Arnaldo Melosantos, Ponzch Colleen M. Alcones, Karl Vincent Soriano and Ishmael C. Narag, DEVELOPMENT OF A TSUNAMI MONITORING SYSTEM IN THE PHILIPPINES USING A VERY LOW-POWER AND LONG RANGE RADIO TELEMTRY, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

Hiroshi Inoue, Zhengying Fan, Melchor P. Lasala, Roberto B. Tiglao, Bartolome Bautista, Debbie E. Estipular and Ishmael C. Narag, DEVELOPMENT OF REAL-TIME EARTHQUAKE INTENSITY MONITORING SYSTEM OF THE PHILIPPINES, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

Ma. Mylene L. Martinez-Villegas, Renato U. Solidum, Jr., Hiroshi Inoue, Hiroshi Imai, Angelito Lanuza, Henremagne Penarubia, Ma Lynn Melosantos, Melcario Pagtalunan, Ishmael Narag, Joan Salcedo, Melchor Lasala, Antonia Bornas¹, Perla Delos Reyes and Bartolome Bautista, FILIPINOS IN JAPAN: EXPERIENCES AND LESSONS LEARNED FROM THE 11 MARCH 2011 EARTHQUAKE AND TSUNAMI, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

Hiroshi Inoue, Hiroshi Imai, Mylene M. Villegas, Teddy, A. Bunanta and Megumi Sugimoto, RESIDENTIAL VIEW VIDEO OF SHAKING TABLE EXPERIMENTS OF NON-ENGINEERED MASONRY HOUSES FOR RAISING PEOPLE'S AWARENESS OF EARTHQUAKE RISK, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

Lucille Rose del Monte, Ma. Mylene Villegas-Martinez, John Paul V. Fallarme and Eloisa

Monique R. Realis DEVELOPMENT OF COMICS/MANGA AS A TOOL FOR PUBLIC AWARENESS, ASC 10th General Assembly, Manila, 2014.

③ ポスター発表 (国内会議 16 件、国際会議 28 件)

井上公、熊谷博之、木股文昭、長尾年恭、箕輪親宏、Renato, Solidum, Jr., Bartolome, C. Bautista, 「フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進」、地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉、2010.5

Nagao, T., Detailed electromagnetic volcano-monitoring under the Japanese JICA/JST project 2010-2014, Taal volcano, Philippines, The 6th APRU research Symposium on Multi-Hazards around the Pacific Rim, Peking, 2010.8

Nagao, T., Y. Sasai, Electromagnetic volcano-monitoring under SATREPS project 2010-2014, Taal volcano, Philippines, General Assembly of Electromagnetic Studies of Earthquakes and Volcanoes 2010, California, 2010.10

長尾年恭, 笹井洋一, 竹内昭洋「地球規模課題対応国際科学技術協力事業」におけるフィリピン・タール火山の電磁気学的監視計画, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋季大会, 那覇, 2010.11

Matsumura, Y., Kimata, F., Bacolcol, T., Pelicano, A., Laguerta, E., Solidum, R., 2010, Estimated Magma Intrusion Model in Mayon Volcano, Philippines by GPS measurements in 2004-2006, AGU 2010 Fall Meeting, 2010.12

井上公、熊谷博之、木股文昭、長尾年恭、Renato, Solidum, Jr., Bartolome, C. Bautista, Enhancement of Earthquake and Volcano Monitoring and Utilization of Disaster Information in the Philippines: Part 2, 地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

熊谷博之・他、フィリピン・タール火山の火山監視観測網の構築、地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

今給黎哲郎, 塩谷俊治, 木股文昭, テレント・バコルコル, ミンダナオ島(フィリピン)における GPS 地殻変動連続観測(序報), 地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉、2011.5

Sasai, Y., T. Nagao, A. Takeuchi, Y. Yamaya, T. Hashimoto and T. Mogi, Electromagnetic volcano-monitoring under the SATREPS project 2010-2014, Taal volcano, Philippines, IUGG general Assembly in Melbourne, 2011.7

Nagao, T., Y. Sasai, A. Takeuchi Y. Yamaya, T. Hashimoto, T. Mogi and H. Kumagai, Detailed electromagnetic volcano-monitoring and sounding under the SATREPS project, Taal volcano, Philippines, AGOS General assembly in Taipei, 2011.8

H.IMAI, H.INOUE, C.MINOWA, A.G.LANUZA, H.C.PENARUBIA, I.C.NARAG R.U.SOLIDUM Jr., K.OKAZAKI, T.NARAFU, J.SAKUMA, K.KUSUNOKI, Shaking Table Experiment for Philippine Full-Scale Concrete Hollow Blocks(CHB) Masonry Houses, 15WCEE, Sep 2011

前田裕太・熊谷博之・山品匡史・Lacson Rudy・Figueroa Melquiades・Loza Allan, 2011, フィリピン・タール火山で観測された低周波地震と高周波微動, 日本火山学会講演予稿集, P33., 2011.10

Y. Maeda and H. Kumagai, 2011, Effects of Water Domains on Seismic Wavefields: A Case Simulation Study at Taal Volcano, Philippines, AGU Fall Meeting, S31B-2231., 2011.12

H.Inoue, Sea-level monitoring system with ultra-low power radio telemetry designed for denser networks and the last minutes warning of tsunami, Japan-UNESCO/UNU Symposium on The Great East Japan Tsunami on 11 March 2011 and Tsunami Warning Systems: Policy Perspectives, Tokyo, 2012.2

プリードネルソン, 熊谷博之, 井上公, Renato U. Solidum, 山品匡史, Ishmael C. Narag, Baby Jane T. Punonbayan, Melquiades S. Figueroa II, Arnaldo A. Melosantos, Suhardjono4, 前田裕太, フィリピン・インドネシアにおける広帯域地震観測網を用いた地震活動モニタリング, 地球惑星科学連合 2012 年大会, 千葉, 2012.5

Hiroshi INOUE, Developing a Sea-Level Monitoring System with Low Power Radio Telemetry for Denser Tsunami Observation Networks, International Symposium: Human Well-being and the Marine Environment in the Pacific Islands, May17-18, 2012, Ginowan-City, Okinawa

Hiroshi IMA・Hiroshi INOUE・Chikahiro MINOWA・Angelito G. LANUZA・Henremagne C. PENARUBIA・Ishmael C. NARAG・Renato U. SOLIDUM Jr.・Kenji OKAZAKI・Tatsuo NARAFU・Jyunzo SAKUMA・Koichi KUSUNOKI・Toshikazu HANAZATO, Shaking Table Experiment for Philippine Full-Scale Concrete Hollow Blocks (CHB) Masonry Houses, 15WCEE, Lisbon, 2012.09

大倉敬宏・木股文昭・Ma. A. Bornas, A. Aguilar, and A. C. Luis, Jr, リアルタイム GPS 観測による火山活動モニタリング-フィリピン・タールおよびマヨン火山-, 日本火山学会 2012 年度秋季大会, 御代田町, 2012.10

安田大剛・中田 高・小林俊孝・T. Bacolcol・A. Daag・M. Cahulogan・R. U. Solidum, 2012 年ネグロス地震 (Mw6.7) に伴う局地的津波と海底地すべり, 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会, 京都, 2012.11

Maeda, Y., H. Kumagai, R. Lacson, M. S. Figueroa, and T. Yamashina, Oscillation of a Shallow Hydrothermal Fissure Inferred from Long-Period Seismic Events at Taal Volcano, the Philippines, AGU Fall Meeting, V53B-2816, 2012.12

大倉敬宏, 木股 文昭, 田部井 隆雄, Teresito C. Bacolcol, Endra Gunawan, フィリピン・ミンダナオ島における GPS 観測-地震発生ポテンシャル評価にむけて-, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉, 2013.5

Maeda, Y., H. Kumagai, R. Lacson Jr., M. S. Figueroa II, and T. Yamashina, Source process of long-period seismic events at Taal volcano, Philippines: Vapor transportation and condensation in a shallow hydrothermal fissure, IAVCEI 2013, 鹿児島, 2013.7

Figueroa II, M. S., R. A. Lacson Jr., H. Kumagai, Y. Maeda, et al., Enhanced multi-parameter monitoring network in Taal Volcano, Philippines, IAVCEI 2013, 鹿児島, 2013.7

Bornas, Ma. A., H. Kumagai, C. Newhall, D. Hidayat, Y. Maeda, et al., Evolving Multi-Parameter Monitoring Network in Mayon Volcano, Philippines, AVCEI 2013, 鹿児島, 2013.7

Maeda, Y. and H. Kumagai, An analytical formula for the longitudinal resonance frequencies of a fluid-filled crack, AGU Fall Meeting 2013, San Francisco, 2013.12

Ichihara, M., T.Kusakabe, N. Kame, H. Kumagai, Volume source representations (2): a possible unified explanation based on the representation theorem, AGU Fall Meeting 2013, San Francisco, 2013.12

Alanis Paul, 山谷 祐介, 竹内 昭洋, 笹井 洋一, 長尾 年恭, A large hydrothermal reservoir beneath Taal Volcano (Philippines) revealed by MT surveys and its relation to the volcanic activity, 2013 年地球電磁気・惑星圏学会秋季大会, 高知, 2013 年 11 月.

酒井孝英、熊谷博之、中野優、前田裕太、山品匡史、ネルソン・プリード、井上公、Arnold Melosantos、Melquiades Figueroa、Ishma Narag、自動 CMT 解決定精度向上のためのパルス状異常波形の除去方法の検討、地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

熊谷博之、Rudy Lacson、前田裕太、Melquiades Figueroa、山品匡史、Ma. Antonia Bornas、高周波地震波振幅の解析から推定されるタール火山(フィリピン)の浅部 S 波減衰領域とマグマシステム、地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

中村保彦、田部井隆雄、大倉敬宏、木股文昭、Teresito C.Bacolol、Endra Gunawan、フィリピン・ミンダナオ島におけるフィリピン海プレートの収束の解明、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

中田 高、井上 公、M. Cahulogan、D. J. Rivera、R. Lim、C. Pogay、小型 UAV を用いた 2013 年ボホール地震断層の緊急調査、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

井上公、花里利一、今井弘、アーノルドメロサントス、ポンチアルコネス、カールビンセントソリアノ、マルチコプター空撮による 2013 年フィリピン・ボホール地震の建物被害調査、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、横浜、2014.5

Sakai, T., H. Kumagai, M. Nakano, Y. Maeda, T. Yamashina, N. Pulido, H. Inoue, A. Melosantos, M. Figueroa, J. Punongbayan, P. Alcones, K. Soriano, and I. Narag, A simple and rapid detection method of nonseismic long-period pulses for seismic source inversion, ASC 2014, asc2014-abs-025, Manila, 2014.11

Maeda, Y. H. Kumagai, R. Lacson, Jr. M. Figueroa, T. Yamashina, T. Ohkura, and A. Baloloy, A Phreatic Explosion Model Inferred from a Very Long Period Seismic Event at Mayon Volcano, Philippines, AGU Fall Meeting 2014, S11E-4391, San Francisco, 2014.12

Kumagai, H., R. Lacson Jr., Y. Maeda, M. S. Figueroa II, and T. Yamashina, Strong S-wave attenuation and actively degassing magma beneath Taal volcano, Philippines, inferred from source location analysis using high-frequency seismic amplitudes, AGU Fall Meeting 2014, S11E-4390, San Francisco, 2014.12

B. J. Aggangan, C. J. Clarito, K. Fujiwara, D. Hidayat, Ground Deformation Analysis and Modeling of Selected Active Volcanoes in the Philippines. COV8, Jog Yakarta, 2014.09

P. C., Riviera D. J., Buhay D. J., Buhay A., Cahulogan M. T., Abiganiaand M. I., Papiona K. L., Lim R.,Pericano A., Bacolcol T., Daag A. S., Inoue H., Nakata T., Mapping the surface fault rupture of the 2013 Bohol Earthquake by SfM Photogrammetry using small UAV and pole camera., ASC 2014,Manila 2014.11

Cahulogan M. T., Bacolcol T. C., Pogay C. D, Papiona K. L., Perez J. S., Buhay D. J.L., Rivera D. J.V., Lim R. B., Barriso E.n B., Decierdo P. D., AbiganiaI M. I. T., Punongbayan B. J., Villamil C. V., Hernandez V, EvangelistaI N., Solidum R. U. Jr., Inoue H. , and Nakata T, Detailed mapping of the surface rupture of the North Bohol Fault associated with the 2014 Bohol Earthquake.. ASC 2014,Manila 2014.11

Takagi, A., K. Fujiwara, T. Ohkura, A. C. Luis, Jr., A. V. Baloloy, S. Ando, E. Laguerta, and Ma. A. V. Bornas, Pressure source of Mayon volcano estimated by GPS Campaign Survey, ASC 2014,Manila 2014.11

Cahulogan, M. T., Papiona, K. L., Perez, J.S., Bariso, E.B., Rivera, D.J.V., Lim, R.B., Abigania, M.I.T., Melosantos, M.L.P., Nataka, T., Earthquake Generators: Found! (Active Mapping in Mindanao, Philippines) Hokudan International Symposium on Active Faulting 2015, Hokudan, 2015.1

Yasuda H., Bacolcol T., Daag A. S., Nakata T., Geometry and Structure of the Philippine Fault in Ragay Gulf, Southern Luzon, Hokudan International Symposium on Active Faulting 2015, Hokudan, 2015.1

Papiona, K, Cahulogan, M., Rivera, D., Solidum, R., and Nakata, T., Potential earthquake sources in Davao City deduced from tectonic geomorphology, ASC 2014,Manila 2014.11

Vilma C. Hernandez–Grennan, Joan C. Salcedo, Yohko Igarashi, Toshihiro Ueno, Ishmael C. Narag and Bartolome C. Bautista, DEVELOPMENT OF EVENT-BASED TSUNAMI SCENARIO DATABASE, ASC 2014,Manila 2014.11

Melchor P. Lasala, Hiroshi Inoue, Bartolome C. Bautista, Zhengying Fan, Roberto B. Tiglao and Dante S. Soneja, ESTABLISHMENT OF INTENSITY METER MONITORING NETWORK IN THE PHILIPPINES, ASC 2014,Manila 2014.11

(5)知財出願

- ① 国内出願 0件
- ② 海外出願 0件
- ③ の他の知的財産権 0件

(6)受賞・報道等

- ① 受賞

安田大剛 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会若手優秀講演賞「フィリピン断層帯ラガイ湾海底断層の詳細横ずれ変位構造」

② マスコミ(新聞・TV等)報道

2011.9.24 まにら新聞「東日本大震災の被災地視察」比火山地震研究所の職員 12 人、体験談を防災教材に生かす

2011.12.21 まにら新聞「比の災害で記念講演」PRA 日本人倶楽部 10 周年

2013.3.9 まにら新聞「比女性の被災体験から津波防災マンガを作成」

③ その他

(7)成果展開事例

① 実用化に向けての展開

②社会実装(研究成果の社会還元)への展開活動

§ 6 プロジェクト期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

①“ワークショップ、シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2011.3.8	マニラワークショップおよび JCC	PHIVOLCS 本部	45	各研究の進捗報告と翌年度計画の議論
2011.11.16	JCC	PHIVOLCS 本部 (フィリピン)	21	進捗報告と下半期計画の議論
2012.3.12	プロジェクトワークショップおよび JCC	JICA 研究所	37	各研究の進捗報告と翌年度計画の議論を行った
2011.3.13	SATREPS インドネシア・フィリピン地震火山防災合同ワークショップ	JICA 研究所	58	両国の地震火山防災研究の現状と課題に関する情報交換と協力の可能性の議論を行った
2011.3.14-16	地震・津波災害軽減国際シンポジウム	仙台国際センター	183	各国の震災の経験・教訓を共有して世界の地震津波防災力向上の方策を議論した
2014.3.18-19	簡易耐震診断ワークショップ	パンパンガ集アンヘレス市	50	自治体の建築指導エンジニア向けに簡易耐震診断ツールを普及した
2014.5.20-21	簡易耐震診断ワークショップ	ボホール州タグビララン市	50	自治体の建築指導エンジニア向けに簡易耐震診断ツールを普及した

③ 合同調整委員会開催記録

年月日	出席者	議題	概要
2010.2.23-24	関係者全員	活動報告・活動計画	キックオフ WS/JCC
2011.3.4	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2011.11.16	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2012.3.12	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2012.11.16	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2013.3.14	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2013.9.10	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2014.3.14	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2014.9. 18	関係者全員	活動報告・活動計画	WS/JCC
2015.1.8	関係者全員	活動報告	WS/JCC

§ 7 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

(1) 共同研究全体

PHIVOLCS は他の多くの途上国の地震津波火山監視機関に比べると自主性があり活動的である。スタッフの能力も比較的高く、観測機材の運用等は自力でほぼ問題なく実施できる。運用に必要な予算も比較的潤沢に有しており、本プロジェクトで導入した機材が、プロジェクト終了後に放置され朽ち果てるといった心配はない。しかし、日本の大学や研究所とは異なり、現業機関であるため、多くのカウンターパートは研究に専念できる時間はない。また多数のプロジェクトが同時に進行しており、中堅以上のスタッフは非常に多忙で、マネジメントが必ずしも正常に機能していない場面も見受けられる。人材育成の長期的な戦略も十分とは言えない。日常業務をこなしつつ、研究成果を創出するためにはいくつかの課題がある。こと研究に関しては個人の意思と資質が重要である。組織にあつては個人の意思が尊重されない場合もままあるが、PHIVOLCS の組織は比較的柔軟にできており、部署が異動しても研究担当を続けられるなど、やりやすかった面もある。

PHIVOLCS は防災教育部を独立した部署として有する点で、ユニークである。防災教育に関しては本プロジェクトの日本側の研究参加者の殆ど誰よりも、PHIVOLCS のほうが長じており、学ぶものが多かった。一方で、地震部に限って言えば、本来業務の地震津波監視に比べて、自治体への災害リスク評価手法 (REDAS) の普及に力を入れ過ぎていると感じられる面もある。

(2) 高度即時震源解析

高度即時震源解析システムを PHIVOLCS、防災科研および名古屋大学に導入して、フィリピン

および日本側の双方で解析を行うことで問題点の改善に役立てた。SWIFT の手動解析を行うウェブインターフェースを作成したことで、解析の効率化が図られた。地震学に関するレクチャーを PHIVOLCS において開催し、カウンターパートの基礎的な学力の向上を図った。広帯域地震観測網をさらに高密度化することは、より小さな地震のメカニズム解析を可能とし、余震の活動監視やフィリピンの地震テクトニクスの理解に貢献する。さらに超巨大地震の発生に備えた広帯域強震計の設置とそれらのリアルタイムデータの高度即時震源解析システムへの組み込みが望まれる。

(3) 震度速報・津波

開発したシステムはプロジェクト終了後に長期的に運用されてはじめて意味をもつ。維持管理と発展の持続性を高め、第三国への導入も容易になるように、汎用・共通の言語を使ってシステムをオープンなものとした。津波観測の重要性や、災害時の通信の信頼性の重要性の理解は不十分であり、別途プロジェクトを立てて大災害発生時の業務のシミュレーションを行うべきであると感じる。

(4) 地震発生ポテンシャル

PHIVOLCS が GPS のオンライン連続観測点を増設し、長期にわたって安定的に運用していくことが重要である。それが地殻変動の即時検出に有効であり、将来的には、超巨大地震による津波に対する警報の信頼性・迅速性の改善に役立てられる。そのためには今後も機材の供与など、日本側の協力も必要不可欠である。

また、本プロジェクトで行った空中写真判読による活断層の認定および音波探査装置による海底活断層調査は、必ずしも高度で先進的な技術や手法とは言えないが、PHIVOLCS のスタッフが持続的に活用することによってフィリピン断層帯やミンダナオ島以外の地域や海域において、地震・津波発生ポテンシャルに関する基礎的なデータを着実に整備することが可能である。

(5) 火山地震

観測データや解析結果を自動的にウェブに表示し、関係者による最新情報の共有を可能とした。ルーチン解析の手順書を示したボードを設置したことで、オペレータが容易に解析を行えるようになった。他の活動的火山の観測網を強化するとともに、それらのリアルタイムデータにプロジェクトで開発した火山監視システムを適用することで、フィリピンにおける火山監視の包括的な能力強化に取り組むことが今後必要である。

(6) 火山 GPS

PHIVOLCS の火山部門には、火山性地殻変動をモデリングするソフトウェアを独自で開発できる人材がいなかった。そのため、日本で使われていた火山性地殻変動解析支援ソフトウェアを英語化し、PHIVOLCS スタッフが容易に地殻変動をモデリング出来る環境を整えた。ただし、観測点設置やデータ解析システムを維持管理することには問題はなく、PHIVOLCS が独自に GPS 観測網を設置し、そのデータもリアルタイム処理できるようになっている。今後は観測データのモデリングによって得られた結果を解釈し火山活動の評価を適切に行える人材を育成していく必要がある。

(7) 火山電磁気

地球規模枠での国費留学生(大学推薦)を受け入れ、東海大学で博士(理学)を取得させた。特に本分野のようにフィリピンに当該分野の専門家を教育する大学院が存在しない状況では、このような人材の育成こそ支援を無駄にしない大きな要因であると考えている。

(8) 防災情報

東日本大震災を経験した我々は、その教訓を他国と共有し世界の防災に貢献することを義務と認識する必要がある。フィリピンは最後の大きな津波災害から 40 年近くが経過しており、人々の記憶も風化している。東日本大震災のフィリピン人津波被災者インタビューは津波防災意識向上

の有効な手段の一つとなる。簡易耐震診断は他の途上国でも例がない。フィリピン国内での普及活動を実施するとともに、国際的な普及を目指して情報交換の枠組みを作るべきである。

最終年度には地震・火山防災情報の利活用セミナーを開催する予定である。PHIVOLCS は防災教育部門を有し、定常業務に加え各種プロジェクトを通じて自治体や住民向けの防災教育活動に取り組んでいるため、情報の利活用推進はフィリピン側が主体となり、永続的に実施可能である。

簡易耐震診断ツールの開発に関して、カウンターパートの PHIVOLCS のエンジニア、また ASEP (フィリピン構造者協会)との協議を重ねてきた。その中で、地震による建物被害の中でも大部分を占める「ノンエンジニアド建築」の被害軽減が重要であることが、共通認識として構築されたことは大きいと考える。耐震チェックリストは、住民にとってもわかりやすく、住民の防災意識向上に向けての第一歩になることが期待される。この手法はフィリピン型 CHB 住宅に限らず、レンガ、アドベ、版築等の組積造住宅の国々向けのバージョンを作成して普及することで、世界の地震災害軽減に軽減できると考える。

§ 8 結び

我が国と同様に地震・火山災害の多発するフィリピンにおいて、我が国の過去の ODA によって整備された地震・火山観測システムを活用し、高精度の地震観測と即時震度観測による迅速で正確な震源情報の発信と被害推定への活用、地殻変動観測と地質地形調査による大地震の発生ポテンシャル評価、タール火山とマヨン火山の地震・空振・GPS・電磁気総合観測による火山活動監視、庶民住宅の簡易耐震診断手法の開発、津波防災教材製作、それらの情報発信のための防災情報ポータルサイトの構築を実施した。リアルタイム地震・津波・火山監視情報はフィリピン火山地震研究所の監視業務に活用されている。これらの情報の利活用を促進し、フィリピン国の防災力の向上に貢献した。

強化された観測・監視システムは PHIVOLCS の監視業務にすでに組み込まれており、社会実装が実現している。さらに、当初計画には無かった庶民住宅の振動台実験、1年目の終わりに発生した東日本大震災を受けての津波課題の追加等で、より住民の減災対策に近い成果も上げることができた。ポータルサイトの充実・普及をはじめ、いくつかの研究項目で、最後の仕上げが必要となっているが、終了時までには完遂できる見込みである。

移転した技術・知識・観測インフラの継続的な活用のために、持続的な協力体制の維持が必要である。SATREPS の最後の S (Sustainable development) のために、SATREPS の予算規模の 10 分の 1 でよいので、3年間程度、継続した支援のできる助成システムの創設を希望する。また、本課題の成果の多くは、第三国に移植・普及する価値が高く、別途それぞれの国で研究あるいは技術協力の課題形成ができれば、地球規模課題解決により貢献することが可能と考える。

SATREPS という新たな制度のおかげで、これまで実現できなかった、開発途上国における「先進的な技術協力」と「社会実装に直結する研究開発」が実現できた。JST および JICA 他、多くの関係者の皆様に深く感謝いたします。

研究代表者 井上 公



2015 年 1 月 8 日 最終ワークショップ・JCC（於マニラ）

§ 9 PDM の変遷（該当する場合）

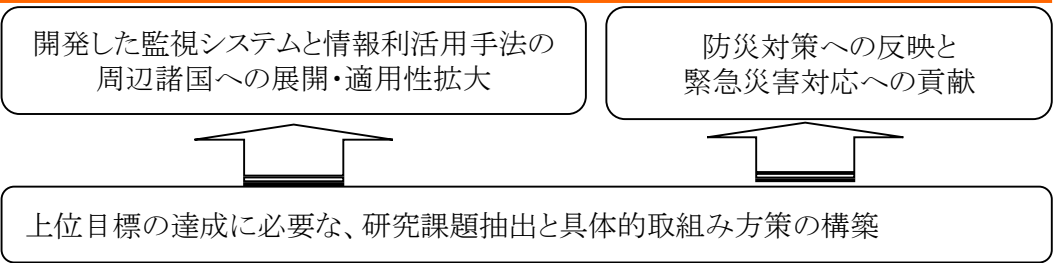
なし

研究課題名	フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進
研究代表者名 (所属機関)	井上 公 防災科学技術研究所
研究期間	H21年度採択(H21年6月～H27年3月)
相手国機関	フィリピン火山地震研究所

付随的成果

日本政府、社会、 産業への貢献	日本企業による震度計の商品化と無償 資金協力事業での採用
科学技術の発展	フィリピンの地震発生様式、火山活動 のメカニズム、地殻変動の把握・解釈
知財の獲得、国 際標準化の推進、 生物資源へのア クセス等	該当なし
世界で活躍できる 日本人材の育 成	若手研究員のテニュア取得2名 若手技術員のテニュア取得2名 相手国研究者の学位取得1名
技術及び人的 ネットワークの構 築	インドネシア気象庁との人的交流 (2014.8)
成果物(提言書、 論文、プログラム、 マニュアル、デー タなど)	マニュアル(火山地殻変動解析、振幅 震源決定、震源解析、IT震度計運用、 潮位観測システム、簡易耐震診断)

上位目標



プロジェクト目標

