

持続可能開発目標達成支援事業 (aXis)

A タイプ研究分野「防災」

研究課題名「最新の UAV・RTKGNSS・センサーを用いた

火山・地震・災害監視技術の実装実験」

相手国名：フィリピン共和国

令和 2 (2020) 年度実施報告書

研究期間

2020年4月1日から2022年3月31日まで

研究代表者： 福井弘道

中部大学中部高等学術研究所・教授

(R2 年度 井上公 防災科学技術研究所)

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目 活動	R2年度				R3年度			
	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月
1. UAV技術 1-1 飛行・空撮	製作・実験						* 1	
1-2 採取投下水深	製作・実験						* 1	
2. RTKGNSS技術 2-1 地上測位	製作・設置		観測				* 1	
2-2 空中測位	精度検証						* 1	
3. センサー技術 加速度・水位 無線	製作・試験						* 1	
現地実証実験	機材調達・輸送				第2弾	* 1		
	マニュアル制作					* 1		
		製作・設置・観測				* 1		
			ワークショップ					* 1

* 1 コロナ禍の影響で相手国に渡航できなかったため、全体スケジュールを遅らせた。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点（該当する場合）

新型コロナウイルスのため R3 年 5 月末現在でもフィリピンにいつから渡航できるか見通しが立っておらず、センサー・無線担当のフィリピン火山地震研究所職員の招聘も実現していない。国内の活動も制限された。そこで実証実験項目から、時間的制約から実現性の低いフィリピン断層における RTKGNSS 連続観測、高精度地形モデルによる津波遡上シミュレーションを除外した。国内実験のフィールドも一部変更した。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

本研究では、フィリピンで実施した過去の SATREPS 課題および e-ASIA 課題で開発・活用した UAV, RTKGNSS, センサー技術を用いて、フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS) による火山・地震監視業務と自治体の災害対応支援を効率化するシステムを試験導入し、社会実証実験を行う。

H22-H26 年度の SATREPS 課題「フィリピン地震火山観測監視強化と防災情報の利活用推進」では既存の地震・津波・火山監視システムに新たな観測機材と新たな解析手法を導入して、PHIVOLCS の監視能力を向上させた。特にタール火山は首都圏から近く、かつ最後の噴火から 30 年以上経過していることから最重要の対象として監視システムを総合的に強化した。このタール火山が 2020 年 1 月 12 日に噴火した。



タール火山の噴火 (2020 年 1 月 12 日)
写真提供 PHIVOLCS

SATREPS で導入した監視システムは周辺住民に迅速に情報を伝えて犠牲者をゼロにすることに役立った。一方噴火により重要な観測点が機能を失い、監視能力が数週間大幅に低下した。また今回大きな変動が見られた周辺地域の地殻変動、灰や湖水の試料採取、カルデラ湖の湖底地形調査など、SATREPS 課題では実現できなかった観測も多くあった。

我々はまた、H28-H31 年度に e-ASIA 課題として「小型 UAV を用いた災害リスク評価・監視・対応のための情報収集・利用システムの開発」を PHIVOLCS と共同で実施した。この課題では長距離・大高度差の飛行が可能な固定翼無人機を開発してタール火山とマヨン火山の麓からの空撮、津波リスク評価のための海岸地形・住宅のマッピング、自治体による災害状況把握のための無人機の導入トレーニングを行った。さらに、小型低価格 2 周波 RTKGNSS を使った UAV 測量実験、空中降灰サンプラー設計、湖底海底地形探査用自律航行ボートの製作も試みた。これらの小型高精度かつ安価な UAV、RTKGNSS、MEMS センサー、無線モデム等のデバイスは、従来と比較して格段に高精度・高密度・高頻度の観測や情報収集を可能とするポテンシャルを有している。

そこで我々は、過去の課題で開発・利用したこれらのデバイスを本格的に活用し、フィリピンにおける火山・地震・津波・地すべり、および自治体による災害把握を、高密度・高頻度化するための実証実験を実施することとした。SDGs の目標に対しては、ターゲット 1.5 「貧困層や脆弱な立場にある人々のレジリエンスを構築し、災害に対するリスク度合いや脆弱性を軽減する」および 11. 包摂的で安全かつレジリエントで持続可能な都市及び人間居住の実現に、「ICT や科学的エビデンスに基づくレジリエンス強化」という手段で貢献する。

本課題は、UAV・RTKGNSS・センサーの 3 つの「手段」で分けた研究題目で、それぞれの技術を火山・地震断層・津波・地すべり・被災状況の 5 つの「観測対象」に適用した実装実験を行う。日本側の研究チームは手段によって役割を分担し、フィリピン側の研究チームは対象によって役割を分担する。

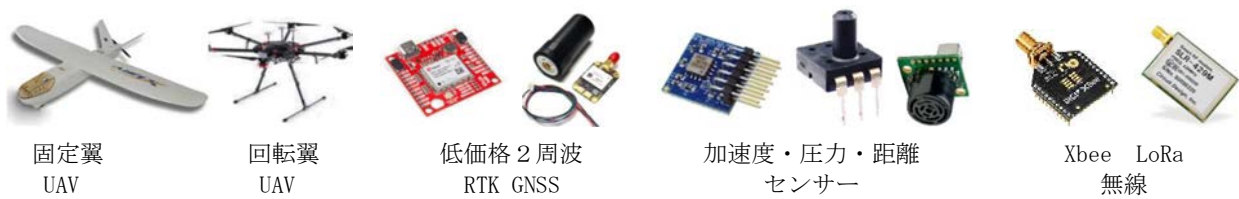


図 2-1-1 実装する技術

研究題目 (日本側組織)		研究対象 (PHIVOLCS 部局)			
		火山 (火山部)	地すべり 活断層 (地質部)	津波 (地震部)	被災状況 (防災部)
UAV 技術 (防災科研)	空撮・地形測量	○	○	○	○
	採取・投下	○	-	-	-
RTKGNSS 技術 (中部大学)	地上定点 mm 測位	○	○	-	-
	空中 cm 測位	○	○	-	-
センサー・ 無線通信技術 (防災科研)	加速度・圧力・距離	○	-	○	-
	Xbee・LoRa 無線	○	○	○	-

図 2-1-2 研究題目・対象表 ◎は優先課題

フィリピンにおける具体的な対象別の実証実験として、タール火山における RTKGNSS 搭載固定翼 UAV を用いた地形観測、UAV 投下型無線テレメタ地震観測実験、UAV による湖水・堆積物・火山ガスの試料採取実験、無人および半自動操縦による湖底水深調査、ルソン島の地すべり地における RTKGNSS 変位観測実験と空中測位式 UAV 空撮地形調査、マニラ近郊とレイテ島におけるフィリピン断層の UAV 地形調査、ルソン島における津波ハザード評価のための無人機海岸地形・無人船海底地形調査・無線テレメタ潮位観測実験、災害状況把握を想定した自治体向け無人機空撮システム導入・運用実験を計画した。またフィリピンへの導入に先立って、技術的問題点の洗い出しと改良を目的とした国内実験を、焼岳・浜松市・尾瀬・三宅島・桜島等で行うことを計画した。

しかし 2020 年 4 月のプロジェクト活動開始時点において新型コロナウイルス感染症の拡大の影響でフィリピンへの渡航の見通しが立たなくなった。そこで当面は国内実験に注力することとした。UAV 課題では垂直離着陸機 (VTOL) の改良と飛行性能試験、火山地形調査、ドローン可視マップツール開発、ペネトレーター用ドローン試作、降灰サンプラー試作、超小型無人機試作、火山地形調査、地すべり地形調査、小型船の半自動操舵装置試作を行った。RTKGNSS 課題では焼岳および浜松市における地すべり監視実験と RTKGNSS 搭載無人機による写真測量の精度検証実験を行った。並行してフィリピンでの実験に使用する機材の調達と、現地実習用のマニュアル作成を行った。開始から半年が経過した時点でも新

型コロナ感染症は収束の見込みがなかったため、国内実験への注力を継続するとともに、研究機関の延長を要望し、1年間の延長が認められた。最終的にフィリピンへの渡航はR2年度末まで実現できなかった。したがって本章では主として国内での活動を報告する。

(2) 研究題目1：「UAV技術活用実験」（リーダー：R2 井上公、R3 山田隆二）

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

(2-1) 固定翼 UAV 改良

火山の麓からの火口の空撮や、様々な目的の長距離・広範囲のマッピングを可能とする固定翼無人機のPHIVOLCSと自治体への本格導入のために、e-Asiaで活用したVTOL型の小型電動発泡スチロール機体(MiniTalon)の改良を行った。

eAsia課題では翼幅130cmのMiniTalonで標高差2000mのマヨン火山空撮を行ったが、固定翼機は離着陸に広い平らな場所と操縦技術が必要という欠点があり導入に障害があった。そこでMiniTalonに4枚の回転翼を装着したQuadPlane型VTOL(垂直離着陸機)を製作してタール火山の観測所と地方自治体への導入実験をした。しかしVTOL化に伴う重量と空気抵抗の増加のために飛行距離が半分以下に減じた。本課題では効率改善のために小型・軽量で大きな推力をもつドローンレーサー用の部品を用いること、および水平飛行時の20倍の電力を消費する離着陸時間を最短にする工夫を行った。次に主翼を1.3mから1.5mに延長して浮力の増大を図った。



図 2-2-1-1 VTOL(垂直離着陸)固定翼機



図 2-2-1-2 VTOL機の主翼延長型

(2-2) 固定翼 UAV 大高度差飛行実験

火山の火口を、時季を問わず麓から空撮調査するためには、2000mを超える大高度差を余裕をもって飛行できる必要がある。e-ASIAでは焼岳で1900m、富士山とマヨン火山で2400mの高度差を往復したが、限界の把握のために、航空局の許可・承認を得て有人航空機の航路のない北海道名寄市の上空で大高度飛行試験を行った。天塩川河川敷において半径約500mの巡回軌道で高度を徐々に上げ、5000mを目指したが、上空に行くにつれ風速が増大し、高度3000mで殆ど前進できなくなったため実験を中断した。自律飛行プログラム(ArduPlane V4.0)は前進してウェイポイントに到達しないと次の命令に進めないため、強風下の飛行限界実験はマニュアル操作による介入が不可欠なことが分かった。

【令和2年度実施報告書】【210531】

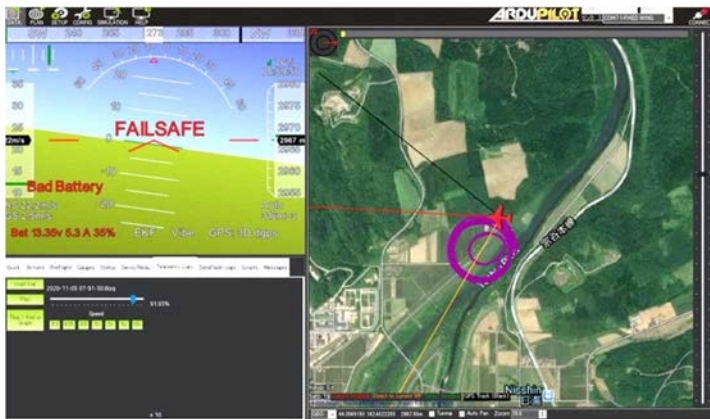
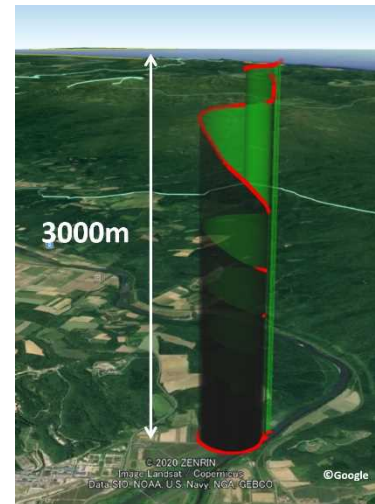


図 2-2-2-1 固定翼機大高度差飛行実験



(2-3) 北海道 火山空撮

フィリピンにおける火山火口周辺の噴火前後の3次元地形モデリングを想定して、北海道での大高度差実験にあわせてアトサヌプリと恵山の2つの火山で空撮とデータ解析の実験を行った。いずれも山体が小さく飛行高度差は1000m未満、飛行時間も20分程度の小規模なミッションで、VTOL化した機体でも十分であったが、VTOLの実験が終了していなかったため通常の機体を用いた。



図 2-2-3-1 アトサヌプリ岳空撮・地形モデル製作

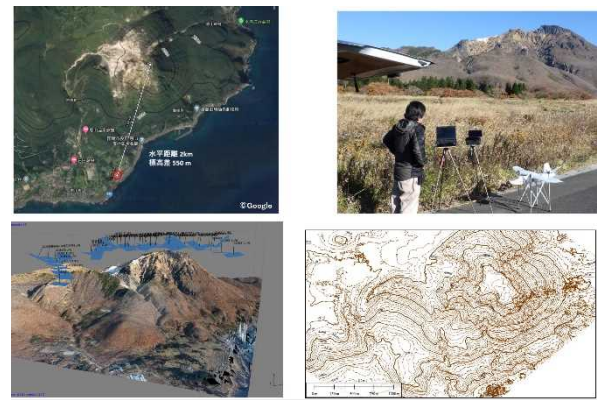


図 2-2-3-2 恵山空撮・地形モデル製作

フィリピンでも平時になるべく多くの火山について PHIVOLCS の地質部スタッフがこのような調査ができるように標準的な機材と運用手順を定める予定である。

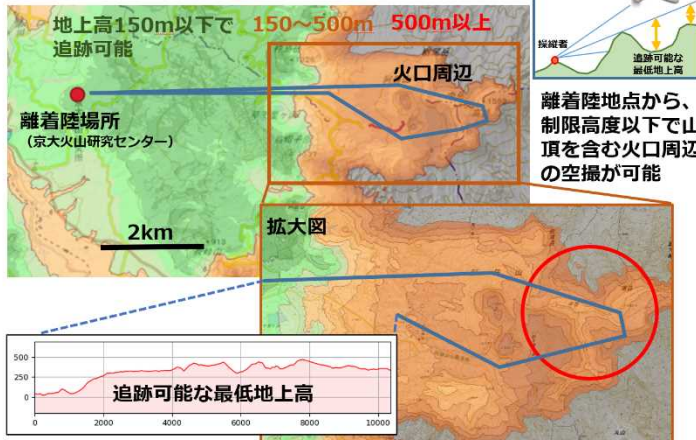
(2-4) ドローン可視高度マップ

山岳地などの起伏の多い場所の飛行は地表との衝突を避けるために対地高度を大きく保つ必要があるが、対地高度は航空法によって制限され、また必要な地表解像度を保つためにも制限される。設定された最大対地高度を超えないようにドローンの飛行経路を決定するために、操縦者の位置からドローンに電波が届くための最小の対地高度を地図化する「ドローン可視高度マップ」を開発した。フリーの QGIS と可視関数のプラグインを用い、通常の可視マップの非可視領域に最低対地高度を表示する。計算時間

はノート PC で 10 秒程度と十分高速である。

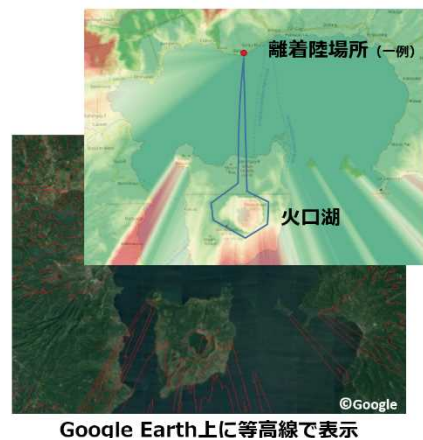
事例①阿蘇山

飛行制限高度：500m以下（山頂400m以下）



事例②フィリピン タール火山

ASTER GDEM使用



(2-5) 吊下げ・投下用 UAV 試作

火山におけるペネトレーターを用いた観測や地表の試料採取に必要な、吊下げ・投下機構を備えた回転翼 UAV を試作した。DJI F450 のフレームに DJI E600 推進機構を取り付けたもので、最大吊下げ能力はバッテリー込みで 2kg 程度である。ペイロードは飛行距離（バッテリー量）に依存するが 1kg のペネトレーターを 2-3 キロ先に投下できる能力を有する。具体的にはタール湖のボートから、火山島の湖岸から 2 キロメートル程度の地点まででの臨時観測を想定している。

送信機

GNSS
受信機

加速度
計

バッテリー

1週間
使捨て

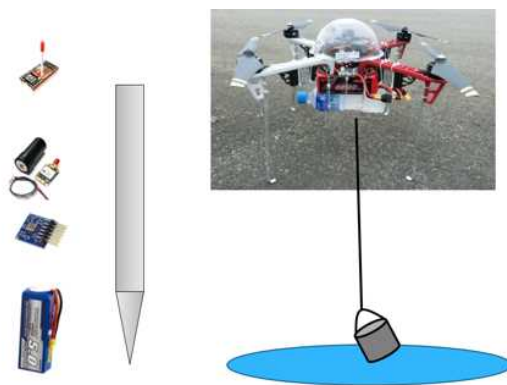


図 2-2-5-1 ペネトレーター・湖水サンプラー



図 2-2-5-2 つり下げ・リリース機構

(2-6) 固定翼 UAV 用噴煙サンプラー試作

噴火の推移を予測するために、噴火様式を反映する火山灰のサンプリングが有用であるが、従来の地表での降灰のサンプリングは噴火日時との対応が必ずしも明確でなく、採取場所が限定され、噴火の規模・風向き・地形に依存するため、系統的・連続的に正しいサンプリングをすることが難しい。それらの問題を解決するために麓から UAV を飛ばして空中で噴煙を採取する UAV 噴煙サンプラーの試作品を設計・製作した。セントヘレンズ火山の噴煙の粒子サイズ(200-500 ミクロン)と密度(90 mg/m³)および UAV の飛行速度(15m/s)から、径 15mm の吸入孔のついたサンプラーを両翼に抱えて飛行させ、上空で

10 秒間蓋を開けば 72 個の粒子を採取できる計算となる。フライトコントローラーに接続されたサーボで蓋を開閉することにより、空中の任意の位置での採取開始・終了が可能となる。R3 年度に桜島火山での実験を計画している。

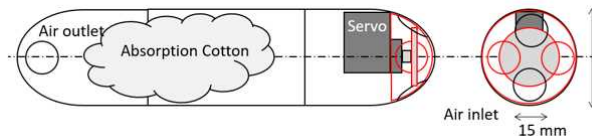


図 2-2-6-1 噴煙サンプラーのデザイン



図 2-2-6-2 試作噴煙サンプラーの動作テスト

(2-7) 超小型 UAV の活用可能性

発泡スチロール製固定翼機は万一墜落して人に衝突しても致命傷を与えることがないが、居住地上空の飛行が避けられない災害状況把握では少しでも安全なシステムが求められる。単純な対策のひとつは機体の小型軽量化である。主力の MiniTalon（翼幅 130cm、総飛行重量 2kg）に対し、新たに翼幅 58cm、総飛行重量 350g の DART250G を製作し、10km 届くテレメトリとビデオ伝送装置を搭載して飛行能力を試験した結果、3S 3400mAh のリチウムイオンバッテリーで、時速 50km で距離 50km 飛行させることができた。機体が小さいためネットを使って容易に回収できる。安全飛行距離・飛行時間を 30km・30 分として 10km 離れた地域を約 10 分間飛行しながら映像伝送できるため、災害発生時の初動の状況把握に適している。また、航空法の制限が非常に少ない 200g 未満の固定翼機の実用化を目指して機体の試作品を製作した。

一方、欧州アルプス等では大高度差の高速 FPV ドローンによる空撮が行われている。そこで火山調査に FPV ドローンを活用する可能性を調べる実験に着手した。固定翼機に比べた回転翼機の利点は離着陸の容易さと、常に斜面に沿って真っすぐ登り下りができるため、航空法による制限対地高度 150m を超える必要がないことである。予備実験には重量 200g、軸間距離 4 インチの機体に 4S 450mAh 75C のバッテリーを搭載して水平距離約 1 km の往復と、比高 300m の往復を行い速度とバッテリー消費を記録した。今後様々な速度とバッテリー容量（重量）での試験を行う。



図 2-2-7-1 小型固定翼機 DART 250G



図 2-2-7-2 FPV ドローン登下降飛行試験

焼岳のヒル谷において、航空法の制限をほぼ受けない 200g 未満のドローンの微地形マッピングへの活用実験を行った。対象の地形は 2020 年 7 月の豪雨で崩壊した幅 20m、長さ 40m 程度の急斜面である。超小型の機体であるが約 15 分の飛行時間と、12MPixel のカメラとジンバルは地形マッピングに十分な能力である。DJI 社の標準アプリではできない自動操縦もサードパーティーのアプリで可能となる。小型であることにより非常に手軽で安全性も高い。つくば市の防災科学技術研究所構内の実験では RTKGNSS 受信機とアンテナを搭載して飛行することもできた。写真測量用ドローンとして業務に十分活用できる能力である。



図 2-2-7-3 超小型(199g)ドローンによる焼岳ヒル谷崩壊地の空撮

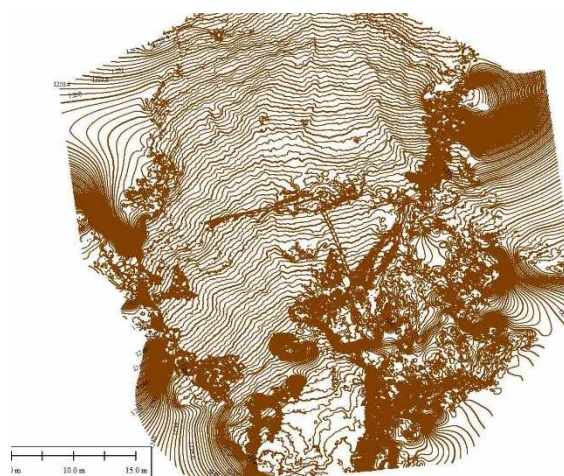


図 2-2-7-4 ヒル谷崩壊地の微地形モデル (コンター間隔 20cm)

(2-8) 地すべり UAV 地形調査

市販の RTKGNSS 搭載ドローンの Phantom4RTK を用いて斜面測量技術の検証と、活動性度の高い地すべりの地形的特徴把握を目的として群馬県片品村尾瀬沼南東部の巨大地すべり地内で空撮と差分地形解析による変動評価を実施した。対象の地すべりは 1970 年以前より存在し、GNSS 観測により 2000 年以降も変動が継続していることが知られている。地すべり地内には奥只見ダムと首都圏を結ぶ送電鉄塔路只見幹線が敷設されている。2020 年 11 月 16 日に写真測量を実施した。作成された DSM と 2009～2010

【令和 2 年度実施報告書】【210531】

年の 5m DEM の差分解析により、移動体中央の谷部を中心に変動が継続していることが明らかになった。ただし凹地を中心に 10cm 程度の積雪があり、メートル以下の微地形の把握は困難であった。雪解け後に再度調査を行い、融雪期の地すべり変動評価、微地形分布と地すべり変動の相関分析を行う。

また 2021 年 2 月 13 日に福島県沖を震源として発生した地震 (M7.3) による福島県二本松市内のサーキット場の大規模斜面崩壊を日本地すべり学会東北支部メンバーを中心とした緊急調査として実施した。現地踏査の結果、①安達太良山および磐梯山を起源とする降下火山灰層周辺をすべり面として崩壊したこと、②崩壊に隣接した斜面には高角の亀裂が発達しており斜面下部の切土により以前から不安定な状態であったことが明らかになった。Phantom4RTK を用いた写真測量の結果、③堆積した土砂は流れ山・側方リッジ・末端崖を持ち、崩土が非常に流動的であったこと、②崩壊は上部・下部の 2 回に分けて発生し、2 回目の崩壊がサーキット内の施設に流入・破壊したことが示唆された。また崩壊前の 5m DEM との差分解析により、崩土の堆積厚は平均 3m、総量約 5 万 m³ と推定した。

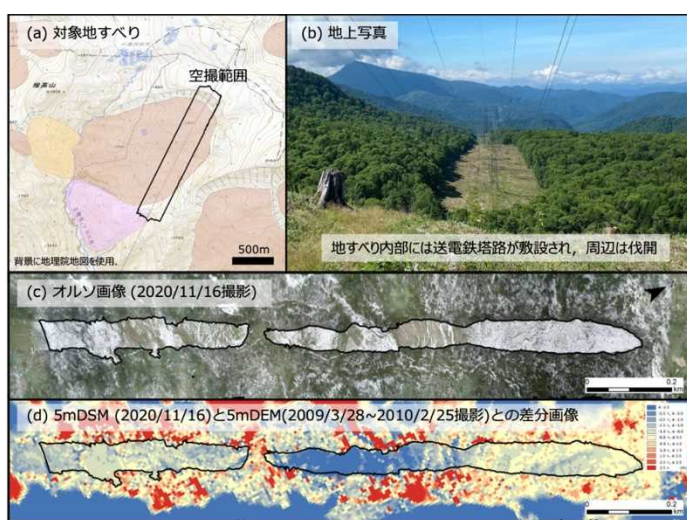


図 2-2-8-1 尾瀬地すべり写真測量

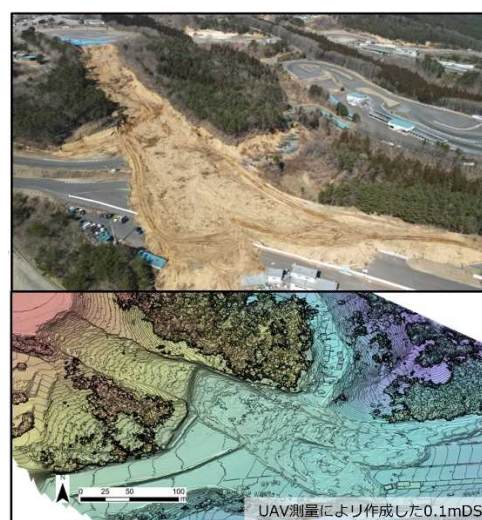


図 2-2-8-2 二本松地すべり写真測量

(2-9) 三宅島火口内空撮のための下降飛行試験

火山の UAV 調査実験として三宅島火口での空撮を計画している。三宅島は 2000 年の噴火で生じた直径約 1.6km、深さ 450m の火口カルデラを有している。2015 年 9 月に固定翼無人機による火口の空撮を行って得た地形モデルによると、火口カルデラ南端には直径 300m、深さ 200m 程度の深い凹部が存在している。この内部を回転翼 UAV で詳細に調査するために、ドローンを火口縁から凹部の中心まで高度差 500m を下降させる必要がある。使用予定の DJI Mavic は上昇高度 500m の制限がかけられているが、下降高度に制限がないかどうかの確認と、下降した位置から周囲の火口壁を撮影するための手動操縦訓練を、シーズンオフの平湯温泉スキー場の 300m の高度差を利用して実施した。

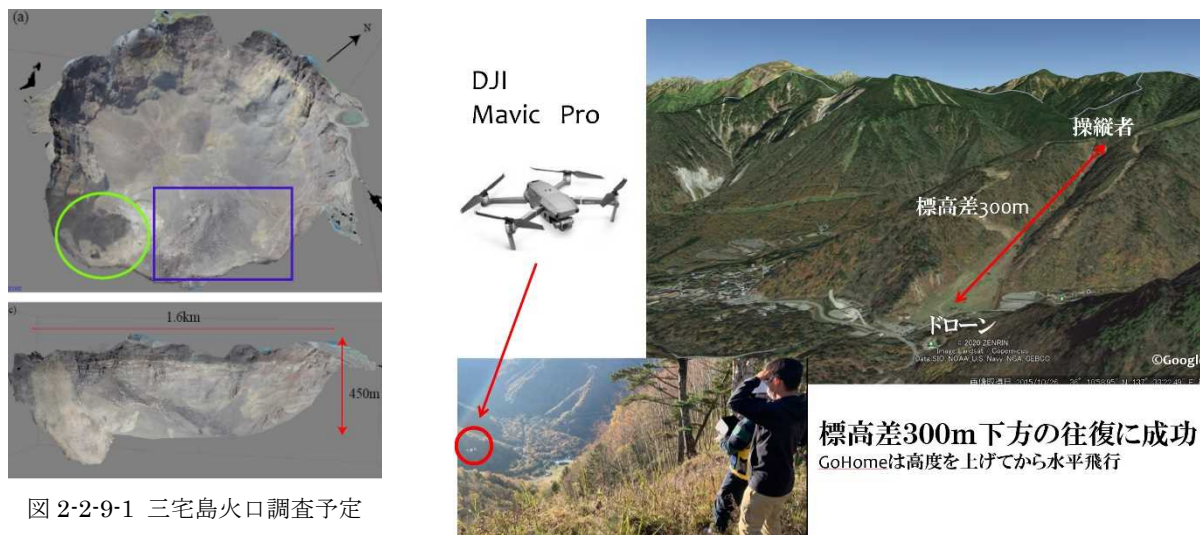


図 2-2-9-1 三宅島火口調査予定

(2-10) 無人船・半自動操縦船によるタール湖および浅海水深調査

UAV に使用しているフライトコントローラーは航空機以外にも船や車の自動操縦に活用することができる。航空機に比べて墜落の心配がなく、ペイロードにも余裕があるため開発は比較的容易である。本課題ではタール湖の湖底地形、および津波遡上計算のための海岸浅海地形の調査のための無人船の製作と実装実験を計画した。無人船を使う利点の一つは人手を省略できることであり、もうひとつは自動操縦によって効率良くグリッド航行ができることである。ただし前者に関しては、無人化による安全性の低下の懸念もある。そこで無人船の前段階として、有人船を用いて半自動操舵による調査の効率化の実験と、無人線の製作を並行して実施することとした。タール湖畔にある PHIVOLCS のブコ火山観測所が有するボートを実験に利用する。操縦席にフライトコントローラー、GPS アンテナ、サーボからなる装置を搭載して、サーボアームの動きに従って操舵するだけで、事前にプログラムされた航跡を忠実にたどることができる。ドライバーに技術・知識が要らないため複数のチャーター船による効率の良い調査ができる。R2 年度はそのための「半自動航行支援装置」の試作品を作成した。R3 年度に防水ケースに収めた装置製作し、並行して無人船を製作する。霞ヶ浦で実験を行って完成させたのちタール湖および海岸で実験を行う。



図 2-2-10-1 タール湖の PHIVOLCS 所有船

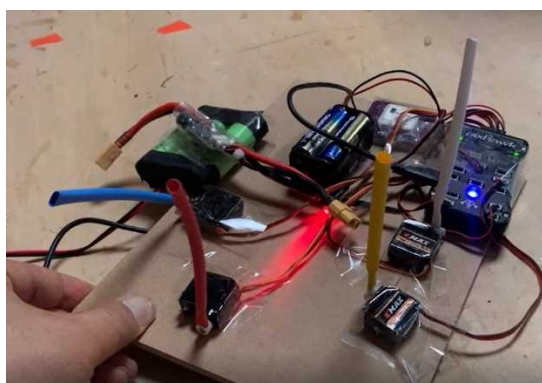


図 2-2-11-2 半自動航行支援装置試作品

(2-11) フィリピン向け UAV 製作・運用研修用 UAV 機材調達

PHIVOLCS スタッフと複数の自治体スタッフを対象に実施予定の固定翼 UAV の製作・運用研修に必要な部品、工具、運用機材を調達し 2020 年 11 月 PHIVOLCS に納品した。輸送に伴う煩雑な輸出許可手続きを避けるために機材は現地納品とした。すべての部品はフィリピンの通販で入手可能なものを選定した。PHIVOLCS スタッフには個々の部品の機能・性能の説明を遠隔で行った。講習は日本チームの現地渡航が必要のため、当面倉庫での保管を依頼した。

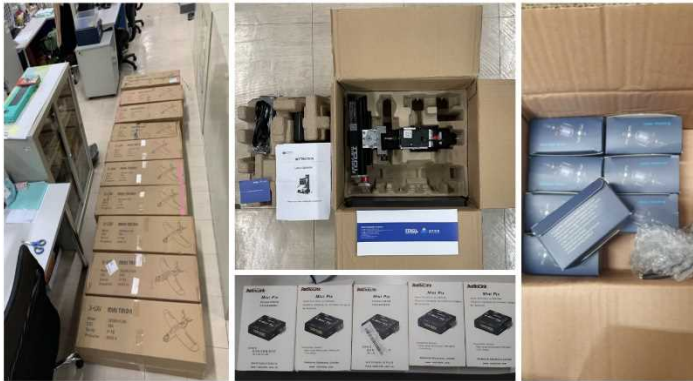


図 2-2-11-1 PHIVOLCS に納品された実習部品

#	Item	pcs required	Recipient	Date Received	pcs recd	pcs prev. order	Total recd
1	X-UAV MiniTalon Kit	9	Arturo Daag	112520 ASD	10	1	11
2	Plane Prop 10x7 GEMFAN 2pcs	5	Arturo Daag	110420 ASD	5	0	5
3	Plane Motor Racenstar BR3536 1200KV	9	Arturo Daag	110420 ASD	8	1	9
4	Plane ESC Vypool 40A 18EC	9	Daniel Buhay	092420 DILB	8	1	9
5	Servo EMAX 1508L II (4pcs)	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	8	1	9
6	Quad Motor Racenstar 5C 2207 2388KV (4pcs)	9	Arturo Daag	110420 ASD	9	0	9
7	Quad ESC 30A Vecomec	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	9	0	9
8	Holbro Pixhawk 4 mini with GPS, PM	9	Jullian Galisano	101220 ASD	8	0	8
9	Plysky FS-148B receiver	9	Arturo Daag	110420 ASD	9	0	9
10	Holbro Sik Radio 433MHz 500mW	9	Arturo Daag	101220 ASD	8	0	8
11	Bullet connector 3.5mm 10 pairs (for plane)	3	Arturo Daag	110420 ASD	10	1	11
12	Bullet connector 2 mm 10 pairs (for Quad)	11	Arturo Daag	092820 ASD	10	1	10
13	XT60 M-F connector 10 pairs (for plane & Para5W)	4	Daniel Buhay	11	1	2	2
14	Aluminum tube 7 x 5 x 200mm (120mmx4/plane)	18	Arturo Daag	092820 ASD	18	0	18
15	Aluminum tube 7 x 5 x 300mm (120mm x 2/plane)	9	Arturo Daag	092120 ASD	9	0	9
16	Servo Ext. cabh 30cm (V-tail x2) (10pcs)	2	Robelyn Mangahas	2	2	0	2
17	Servo Ext. cabh 20cm (Quadx4) (10pcs)	4	Robelyn Mangahas	092420 RZM	4	0	4
18	Servo Ext. cabh 15cm (Motor, Aileron) (10pcs)	2	Robelyn Mangahas	092420 RZM	2	0	2
19	Servo Cable 20cm (PPMAx1) (10pcs)	1	Daniel Buhay	1	1	0	1
20	1ST-GH cable 20cm (Sik Radio) (20pcs)	1	Arturo Daag	101420 ASD	1	0	1
21	Power cable for Quad 18AWG 2m Blk+Red (50cm x 4)	9	Daniel Buhay	092420 DILB	9	0	9
22	Power cable for Plane 16AWG 1m Blk+Red (50cm x1)	5	Daniel Buhay	5	0	5	5
23	USB cable (10cm Frequency Receiver) (Pixhawk)	9	Daniel Buhay	092420 DILB	9	0	9
24	Plywood 2x 200x 300mm (2x450x200=mm)	5	Daniel Buhay	092420 DILB	5	0	5
25	Servo Ext Y Wire Cable 15CM	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	9	0	9

図 2-2-11-2 実習部品 (第 1 回)

(2-12) フィリピン向け UAV 製作・運用研修用マニュアル制作

日本チームが渡航でき次第、UAV 講習を開催できるように、組立および運用マニュアルの作成に着手した。e-ASIA 課題では PHIVOLCS が自治体向けの組立てマニュアルを作成したが内部のデザインと部品の変更が多数あるため作り直した。運用マニュアルは今回新たに作成した。R2 年度末の時点で未完成であるが、渡航のめどが立ち次第完成させる計画である。

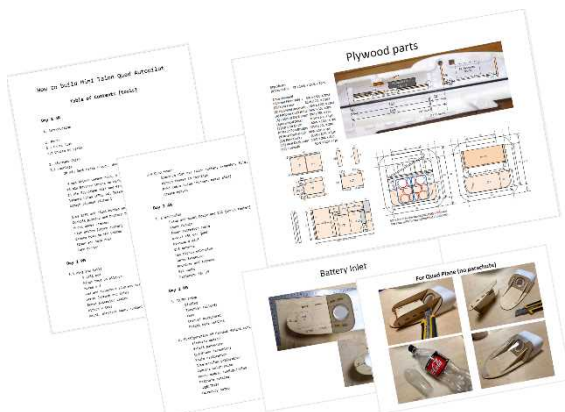


図 2-2-12-1 固定翼 UAV 組立マニュアル

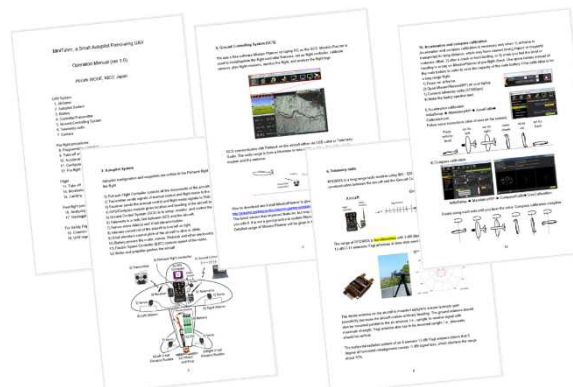


図 2-2-12-2 固定翼 UAV 運用マニュアル

②研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

新型コロナウイルスの拡大のため、日本チームは現地に渡航できず、PHIVOLCS チームも国内移動を厳しく制限されてフィリピンでの活動は殆どできていない。そこで日本チームは国内での実験に注力したことにより、UAV 課題に関しては多くの試作や実験を行うことができた。

③研究題目1の研究のねらい（参考）

④研究題目1の研究実施方法（参考）

(3) 研究題目2：「RTKGNSS技術活用実験」（リーダー：福井弘道）

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

(3-1) 焼岳山麓蒲田川における河川土石流観測の試み

2020年7月の大雨にともなう洪水により土石流被害のあった高山市焼岳山麓の蒲田川河岸に、同月末、ロガーを搭載したオフライン仕様の自作2周波RTKGNSS受信機（Ublox ZED-F9P）と、LTE通信によって観測データを遠隔のサーバに送信する仕様の1周波RTKGNSS受信機（トム通信工業・ライドマテイクステクノロジーズ社製 在庫車両管理端末 TET-0805EA）を設置し、精密座標測位の実験を行った。補足衛星数が不十分であったり、信号品質がよくなかったりと、精密測位に十分な条件であったとは言えないが、設置から数日間、遠隔のサーバでデータの確認ができていた。しかし、その後断続的になり、データの受信を確認できなくなりました。10月に再度蒲田川の現地で機材の確認を行ったところ、機材一式が紛失し行方不明になっていることが確認された。河岸の大きな岩の位置や河道が変わっていたことから、再度の土石流で機材も流失してしまったものと考えられる。

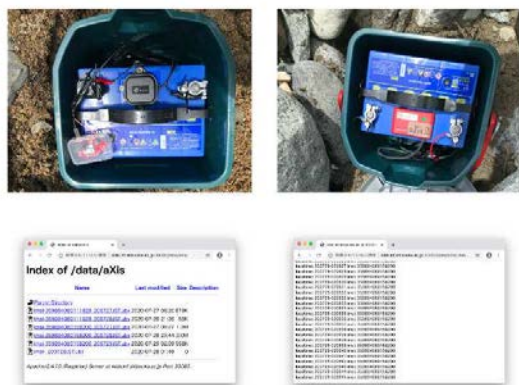


図2-3-1 蒲田川河岸に設置した機材 左上がオフライン（2周波仕様）右上がオンライン（1周波仕様） 下は遠隔サーバで受信したデータの確認画面



図2-3-2 蒲田川に設置した機材 左上が7月の設置時で右上が10月の同じ場所 左下が7月で右下が10月の蒲田川 河道の変化が確認できる

(3-2) 焼岳山麓ヒル谷における中継点を経由した遠隔観測の実験

京都大学防災研究所が定常観測を行っている焼岳山麓ヒル谷では、2020年7月の大雨で幅20メートル、長さ40メートル程度の急斜面における斜面崩壊が発生した。この崩壊地形についてRTKGNSSを用いて遠隔観測することを目的に、機材の開発と観測の実験を実施した。機材は、2周波対応の自作RTKGNSS受信機（ZED-F9P）とロガー、無線通信のためのTWILITE-DIP、間欠動作の制御やそのための時刻同期を行うマイコン等からなる。この機材を観測点に設置し、観測データを遠隔にある京都大学穂高砂防観測所

の通信中継小屋に届けるために、通信の中継点も設けた。中継点は、受信と送信それぞれを行う無線通信機の TWILITE-DIP、間欠動作の制御やそのための時刻同期を行うマイコン等からなる。観測点と中継点のそれぞれで、ソーラーパネルとリチウム電池、電源制御装置を用いて独立した電源管理を行っている。

この実験で、RTKGNSS を用いた地すべりの遠隔観測の実証を行い、フィリピンでも使えるシステムの構築を見込んでいたが、間欠動作が想定通り稼働しなかったことによる電源制御の不安定など問題があり、現時点において遠隔観測の実証に至っていない。



図 2-3-3 焼岳山麓ヒル谷の観測点 左上がヒル谷の地すべり地形 右上が設置した観測点 左下が京大観測所に設置した基準点、右下は中継点



図 2-3-4 上 2 枚が観測点の中身と外観 下二枚が中継点の中身と外観

(3-3) 浜松市大井大滝地区の地すべり観測実験

浜松市天竜区佐久間町大字大井大滝地区では、2020 年 7 月の大雨で地すべりが発生した。この地すべり地形では、すでに静岡県によって伸縮計や抜き板を用いた局所計測が実施されているため、本実験では、広範囲に複数の 1 周波 RTKGNSS 受信機 (TET-080EA) を設置し、それらの相対位置を測位することにより、地盤ブロックごと動くような地すべりの観測を試みた。なお、本実験は、浜松市や静岡県浜松土木事務所の協力により、浜松市デジタル・スマートシティ推進事業本部の R2 年度事業「Hamamatsu ORI-Project」の一部としても実施した。結果的に 2020 年 1 月から 3 月までの観測期間中に地すべりは観測できなかったが、誤差 3 ミリメートル程度でそれぞれの位置の測位に成功し、相互距離についてもミリメートルの精度で算出可能なことを示した。観測は ORI-Project 終了後も継続している。



図 2-3-5 浜松市大井大滝地区の地すべり地形全景と実験箇所の概観

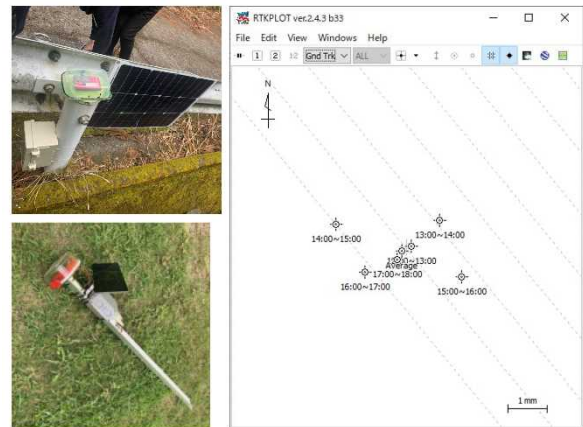


図 2-3-6 左上が機材のガードレールへの設置 左下は埋込式の機材 右図は測位の観測結果 3 ミリメートル程度に収束している

(3-4) 市販 RTKGNSS 搭載 UAV の精度検証

本事業で、安価に実現可能な UAV 搭載 RTKGNSS とその運用手法を開発する際の基準とするため、市販の RTKGNSS 搭載 UAV (DJI Phantom 4 RTK) を用いて航空写真測量の実験を行った。中部大学構内では、比較のための検証点を 2 箇所設置し、地上測位の結果および RTKGNSS 非搭載の UAV (DJI Mavic 2 Pro) を用いて行った結果との比較を行った。その結果は地上測位に比して RTKGNSS 搭載 UAV による測量の精度は水平で 10 センチメートル程度、鉛直で 50 センチメートル程度であった。RTKGNSS 非搭載の UAV による測量の精度は水平で 20 メートル程度、鉛直で 170 メートル程度であった。RTKGNSS 非搭載の UAV による写真測量の鉛直精度には大きな問題があることは既知のことであったが、RTKGNSS を搭載することにより水平測位精度も大きく改善することを確認した。また、傾斜がある地形における有効性を検証するため、高山市奥飛騨温泉郷平湯温泉スキー場を対象にした航空写真測量も実施した。



図 2-3-7 中部大学における写真測量実験により作成した高密度点群 (上) とオルソ写真地図 (下) 拡大してあるのは比較のための検証点

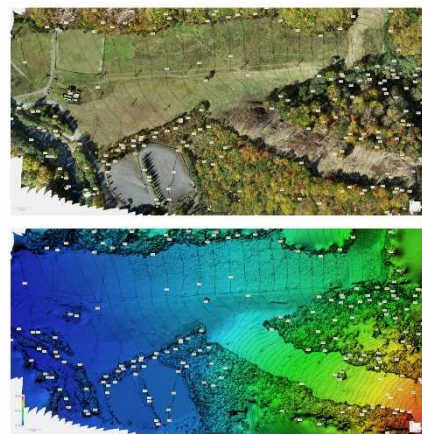


図 2-3-8 高山市平湯温泉スキー場における写真測量実験により作成したオルソ写真地図 (上) と地形図 (下)

(3-5) フィリピン向け RTKGNSS 機材検討と機材調達・輸送

PHIVOLCS スタッフと技術者が、PHIVOLCS の既設の地すべり観測点（DYNASLOPE）に組み込むための RTKGNSS 機材を検討し、調達・輸送を行った。輸送は2段階で行い、初回は日本側で組み立てたサンプル機材、2回目はフィリピン側で製作実習を行うために市販の状態での機材での輸送とした。



図 2-3-9 PHIVOLCS に納品された RTKGNSS 機材

- Qwiic - ZED-F9P搭載 GPS-RTK-SMAモジュール ○○個
<https://www.switch-science.com/catalog/6366/>
- ANN-M8-08 2周波対応GPSアンテナ ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://www.switch-science.com/catalog/5737/>
- 2周波RTK(ZED-F9P対応) GPS/GNSSアンテナ TOP107 ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://store.shopping.yahoo.co.jp/geosense2/top107.html>
- OpenLog ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://www.switch-science.com/catalog/2716/>
- micro SD カード 32GB SDHC ○○個 (F9P の個数と同じ)
- LiPower - リチウムイオン電池昇圧ボード ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://www.switch-science.com/catalog/537/>
- リチウムイオンポリマー電池400mAh ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://www.switch-science.com/catalog/3118/>
- 小型のリチウムイオン電池充電器(マイクロUSBタイプ) ○○個 (F9P の個数と同じ)
<https://www.switch-science.com/catalog/506/>
- Raspberry Pi 4 B 4GB スターターキット ○○個 (F9P の個数の半分)
https://jp.rs-online.com/web/p/raspberry-pi/2867510/2?incmp=JP_WEB_CP-FP22-MCC_1128_APAC--raspberrypi-2867510
- Adafruit Feather M0 900MHz RFM95 LoRa Radio ○○個 (F9P の個数x2)
<https://www.adafruit.com/product/3469>
- 太陽電池モジュール 1.15W SY-M1.15 ○○個 (F9P の個数x6 + ラズパイの個数x6)
<https://akizukidenshi.com/catalog/g/GH-88918/>
- 太陽電池コントローラ SolarAmp B リチウム電池用 ○○個 (F9P の個数 + ラズパイの個数)
<https://www.natural-sky.net/products/detail/619>
- 18650 充電式リチウムイオン電池 保護回路付 ○○個 (F9P の個数x3 + ラズパイの個数x3)
<https://www.monotaro.com/g/8423418/>

図 2-3-10 選定した機材

(3-6) フィリピンにおける RTKGNSS 機材動作検証・初期実験

輸送した機材を用いた精密測位の実験を PHIVOLCS スタッフと技術者が行った。機材の使い方や実験方法の説明はすべて遠隔で実施した。精度を議論する段階には至っていないが、フィリピンにおいて、PHIVOLCS 自らの手で RTKGNSS による測位を実施するに至ったことは大きな進捗である。



図 2-3-11 PHIVOLCS における RTKGNSS 初期実験の様子

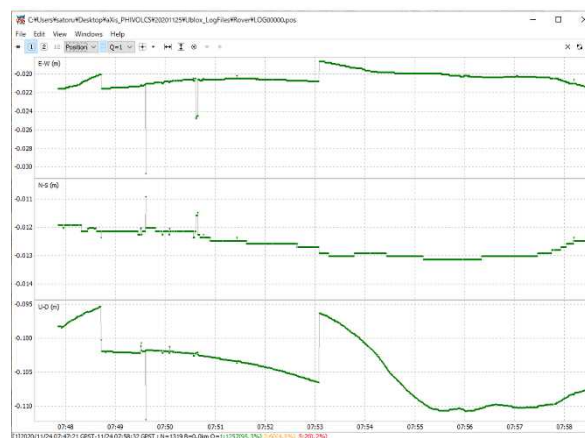


図 2-3-12 フィリピンにおける初期実験の測位結果

②研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

新型コロナウイルス感染症の拡大の影響により、フィリピンへの渡航ができておらず、技術移転の進捗が想定よりも遅れてはいるが、PHIVOLCS が、フィリピンの収束しない感染拡大の状況で動きづらい状態にも関わらず、予想よりも積極的な取り組みを行い、初期実験を完全に遠隔で実施することができた

ことは、渡航できない現状では想定していなかった。

③研究題目 2 の研究のねらい（参考）

④研究題目 2 の研究実施方法（参考）

(4) 研究題目 3 : 「センサー・無線活用実験」(リーダー : Bartolome Bautista)

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

(4-1) 無線テレメタ式地震計の設計

2020 年 1 月のタール火山噴火では火山島内の 4 か所の観測点が機能を失った。火山活動が継続中で復旧のために島内に立ち入ることはできず数週間の監視能力が低下した。将来また観測点が機能しなくなる事態が発生した場合のバックアップや、火山活動の活発化等で臨時の監視強化が求められたときに、UAV を用いて現場に立ち入ることなく臨時に地震計を設置して 1 週間程度のテレメタ観測を行える「UAV 投下型無線テレメタ地震計」の開発・製作を計画した。センサーには微小地震観測にも使える低価格で最高感度の MEMS 加速度センサー ADXL354/355 を、無線通信には同じく低価格で高機能の Xbee3 Pro (2.4GHz) または、より長距離の通信が期待できるシリアル無線モデム (430/900MHz) を用いる。近年の地震観測はすべてデジタル化されているが、観測点でタイムスタンプを付加して MiniSEED や Win という標準のフォーマットで送信するには、再送要求機能なども含めてプログラムが大掛かりとなり、ペネトレーターへの組み込みが難しくなる。またデジタル波形のフォーマットはメーカー依存のため汎用性が損なわれる。そこで性能や機能よりもシンプルさと確実さを優先し、タイムスタンプ無しでアナログ入力アナログ出力垂れ流しのシステムを設計した。複数の観測点から集められたデータは既存のデジタルタイザーに入力され、既存の処理システムで処理される。またアナログ入力のため加速度計以外の各種アナログセンサーに対応できる。本プロジェクトでは火山の臨時地震観測と、津波（潮位）の定常観測にこのシステムを使用する。潮位観測には安価な圧力センサーまたは超音波距離センサーを用いる。詳細設計と試作は R2 年度に実施できなかったため、R3 年度に行うこととした。

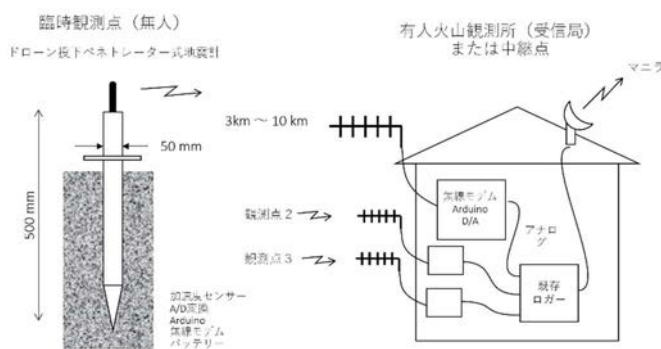


図 2-4-1 アナログ入出力無線地震計

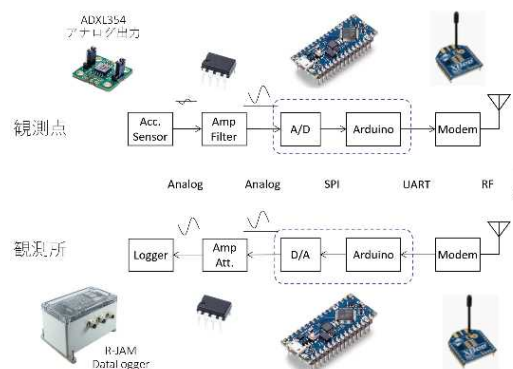


図 2-4-2 無線地震計構成図

②研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本研究題目の責任者の、PHIVOLCS 元副所長・防災科学技術研究所客員研究員(予定)の Batolome Bautista 氏が、新型コロナ感染症拡大のため来日することができなかった。また参加者の中で感染に最も警戒しなければならない年齢のため、フィリピン国内での活動も限られたため、本課題で必要となっていたセンサー・無線応用機材の製作は実施できず、R3 年度に持ち越しとなった。

③研究題目 3 の研究のねらい (参考)

④研究題目 3 の研究実施方法 (参考)

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し (公開)

新型コロナ感染症の影響によるプロジェクトの遅延が最大の問題であるが、一方で本課題はもともとのスケジュールが非常に過密だったため、研究期間が1年延長されて国内実験が進んだこと、および当初の計画では発生したであろう活動の積み残しを減らすことができたという側面もある。

R3 年度計画策定時点(2月)では、渡航開始を7月としたが、5月末時点では我が国もフィリピンも感染症は収束していない。わが国では一部で6月20日まで緊急事態宣言が出ており、フィリピンでは4月中旬からの減少傾向が5月末にまた増加に転じている。そこで現時点ではまず8月に国際コーディネーターが協議のために渡航し、9月に最初のワークショップ・組立実習・設置運用を予定している。

一部の課題ではシステムの設計・製作および国内実験も遅延しているが、作業の外注によりそれらを加速して、渡航後のフィリピンへの導入を遅滞なく実施する計画である。現地での設置はまずルソン島の DYNASLOPE サイトにおける地上固定 RTKGNSS 観測、タール火山の UAV 地形調査、ルソン島の UAV 断層地形調査を行う、以降の渡航でタール火山の地上固定 RTKGNSS 測位実験、同ペネトレーター地震観測実験、タール湖水深調査、マニラ湾口における津波観測・海底地形調査、マヨン火山における UAV 空撮調査と噴煙サンプリング、自治体を対象とした UAV 導入ワークショップ、活断層住民ワークショップを R3 年度末までに順次行う。

Ⅲ. 社会実装に向けた課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

（1）プロジェクト全体

本研究課題は社会実装を目的としているため、導入した機材やシステムは実験終了後に PHIVOLCS や自治体で長期的に運用され発展するものでなければならない。そのためフィリピンで入手可能な機器や部品のみを用いること、開発したシステムがフィリピンで維持管理・再生産ができるように必要な情報をすべて提供すること、およびスタッフのトレーニングに重点をおくこととした。

新型コロナウイルスの影響で活動計画の遅延は続いている。最悪 R3 年度中に渡航できない場合も想定したオンライントレーニングも想定している。

（2）研究題目 1：「UAV 技術活用実験」（リーダー：R2 井上公、R3 山田隆二）

UAV 課題の実装実験は e-ASIA 課題での活動の延長線上にあるため、PHIVOLCS 側との情報共有は比較的容易である。一方、UAV という機材の性格上、フィールドでの実験が不可欠であり、また法令による飛行制限や、墜落の危険性等もあるため、経験の足りない PHIVOLCS 側に自発的な実験の開始を指示できる状況にはない。現地に一度も渡航せずに初期の目標を達成することは不可能である。

（3）研究題目 2：「RTKGNSS 技術活用実験」（リーダー：福井弘道）

RTKGNSS については、本事業の基盤となる e-ASIA や SATREPS 課題でのフィリピンにおける実績の蓄積がなく先方担当者との面識も部分的であったため密接な信頼・協力関係を構築するために直接対面を要したが、パンデミックのために実施できないまま、不十分なオンラインでのコミュニケーションにとどまっている。また、現地で実装するために既存設備の仕様を視察して検討する必要があったが、それも不十分にとどまっている。そのような困難な状況の中にも関わらず、PHIVOLCS スタッフや技術員は初期実験や情報提供・調整など積極的に取り組んでいるが、やはり遠隔では限界があるため、初期の目標を達成するために渡航が必須である。

（4）研究題目 3：「センサー・無線活用実験」（リーダー：Bartolome Bautista）

センサー課題は過去の SATREPS による火山観測と津波観測の延長線上にあり、UAV 課題同様に PHIVOLCS 側との情報共有は比較的容易である。最大の問題点は研究題目の責任者である PHIVOLCS 元副所長・防災科学技術研究所客員研究員(予定)の Batolome Bautista 氏が、新型コロナウイルス感染拡大のため来日することができず、また現地での活動も大きく制限されていることである。そこで機材の開発・製作に関しては回路設計業者に外注する方向で R3 年度の活動を開始した。R3 年 5 月末現在、UAV 投下式無線テレメタ地震計と無線潮位計の製作のめどがついた状態である。

IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

新型コロナ感染症のため R2 年度は活動や成果の発表やメディア公開の機会がなかったため特になし。

V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】 (公開)

VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】 (非公開)

VII. その他 (非公開)

以上

V. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

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

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

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

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

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

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
R2	PHIVOLCS向け固定翼無人機製作実習(新型コロナのため延期)	MiniTalon Assembly Manual, Part I: Fuselage	

V. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

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

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、年月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別

招待講演 0 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 0 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、年月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2020	国内学会	木谷友哉(静岡大学)、「高精度衛星測位を用いた市土保全モニタリング」, Hamamatsu ORI-Project (データ連携基盤を活用した実証実験プロジェクト)の令和2年度成果発表会, 静岡県浜松市, 2021年3月19日	口頭発表
2020	国内学会	石丸 聡・小安浩理・八木浩司・林 一成・佐藤 浩・宇佐見星弥・山田隆二・佐藤昌人・井口 隆・高見智之・三嶋昭二・柴崎達也・細谷健介、(速報)2月の福島県沖を震源とする地震によるテフラ層すべり:二本松市サーキット場の斜面、北海道地すべり学会、2021/3/16	口頭発表

招待講演 0 件
口頭発表 2 件
ポスター発表 0 件

V. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
記載例	2012-123456	2012/4/1	〇〇〇〇				特許第1234567号	2014/4/1			戦略太郎	〇〇大学◎◎研究科△△専攻	PCT/JP2012/123456
No.1													
No.2													
No.3													

※関連する外国出願があれば、その出願番号を記入ください。

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
記載例	PCT/JP2012/123456	2012/9/20	〇〇〇〇				US1234567号	2015/11/1			戦略太郎	〇〇大学◎◎研究科△△専攻	特願2010-123456
No.1													
No.2													
No.3													

※関連する国内出願があれば、その出願番号を記入ください。

外国特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

V. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日 (例:2020/4/1)	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日 (例:2020/4/1)	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

V. 成果発表等

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

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日 (例: 2020/4/1)	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
R2	2020/10/26	aXis焼岳セミナー	岐阜県高山市 京大防災研穂高砂防観測所	11名	非公開	プロジェクト内の研究発表会

1 件

② 実証試験等

年度	実施期間(実施日)	実証項目	実施場所	概要
R2	R2.4-R2.5	無人機雨中飛行実験	茨城県つくば市・筑西市	市販回転翼機(DJI Mavic)および自作固定翼機を強雨下で数十分間飛行させた
R2	R2.4-R2.12	垂直離着陸固定翼無人機実験	栃木県那須烏山市・福島県南相馬市	QuadPlaneタイプの垂直離着陸機(VTOL)を改良・試作し飛行試験を行った
R2	R2.10	高高度固定翼無人機実験	北海道名寄市	自作固定翼機を対地高度3000mまで上昇させる実験を行った
R2	R2.10	火山無人機空撮実験	北海道アトサヌプリ・恵山	自作固定翼機による火山火口周辺の空撮と3次元モデリングを行った
R2	R2.11	回転翼機300m降下実験	岐阜県高山市平湯	三宅島火口内の回転翼無人機空撮のための予備実験を行った。
R2	R2.11	地すべりRTKGNSS空撮実験	群馬県片品村	RTKGNSS搭載回転翼機による尾瀬南部の地すべりの空撮・モデリングを行った
R2	R2.11-R3.3	350g固定翼無人機実験	茨城県つくば市	350gの固定翼機の製作と飛行試験を行った
R2	R2.7-R2.12	焼岳RTKGNSS観測実験	岐阜県高山市	低価格RTKGNSS受信機による干渉測位の実験を行った
R2	R2.8-R3.3	浜松RTKGNSS観測実験	静岡県浜松市天竜区	天竜区大滝の地すべり地における低価格GNSSによる早期検知実験を行った
R2	R3.3	地すべりRTKGNSS空撮実験	福島県郡山市	RTKGNSS搭載回転翼機による地震性地すべりの空撮・モデリングを行った

9 件