

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

## 終了報告書

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年度代表者 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
<b>UAV技術</b>								
飛行・空撮	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
採取投下水深	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
<b>RTKGNSS技術</b>								
地上測位	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
空中測位	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
<b>センサー技術</b>								
加速度・水位 無線	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
<b>LiDAR (R3新規)</b>					<-----	-----	-----	----->
<b>現地実証実験</b>								
機材調達・輸送	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
マニュアル製作	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
現地観測実験	<----- <-----	----- -----	-----> -----	-----	-----	-----	-----	----->
対面ワーク ショップ				<----->				<----->

コロナ禍の影響で全スケジュールが遅延した。R4年1月現在まだ渡航できていない。

#### (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感染症のため全体計画は大幅に遅延した。国内の活動も制限されたため、R2年度は国内実験のスケジュールも遅延した。研究期間が1年間延長されたため、国内実験はある程度進展したが、R4年1月現在でフィリピンに渡航できず、相手国機関職員の招聘も実現していない。

## 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, センサー技術を活用・発展させ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ことを目指した。

2020年1月12日のタール火山の噴火では SATREPS で導入した監視システムが周辺住民への迅速な情報伝達に役立ち、犠牲者をゼロにすることに貢献した。一方噴火で複数の観測点が機能を失い監視能力が一時的に大幅に低下した。周辺地域の大きな地殻変動、灰や湖水の試料採取、カルデラ湖の湖底地形調査などは SATREPS 課題で整備したシステムでは実現できなかった。



タール火山噴火 (2020.1.12 PHIVOLCS)

我々はまた e-ASIA 課題でフィリピンにおける災害情報収集のための小型 UAV を開発・導入した。固定翼無人機によるタール火山とマヨン火山の空撮、津波リスク評価のための海岸地形・建物マッピング、自治体へ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たえ、これらをフィリピンの火山・地震・津波・地すべりおよび自治体による災害把握に本格活用するための実証実験を本 aXis 課題で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「対象」に適用した実装実験を行うこととした。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こととした。

研究題目 (日本側組織)	研究対象 (PHIVOLCS 部)	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	○	○	○	-

【終了報告書】【210531】

図 2-1-2 研究題目・対象表

フィリピンにおける実証実験として、RTKGNSS 搭載 UAV 地形観測、投下型無線テレメタ地震観測、UAV 湖水・火山灰採取、地すべり RTKGNSS 観測、無人機海岸地形調査、無人船海底地形調査、無線テレメタ潮位観測、自治体向け無人機システム訓練を計画した。またフィリピン導入前の国内実験を、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に新型コロナウイルス感染症の拡大でフィリピンへの渡航の見通しが立たなくなったため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。フィリピンでも同様に新型コロナウイルス感染症が広がり、PHIVOLCS は多くの観測業務が停止したため本課題の活動は殆どできなかった。

当初 R2 年度のみとされていた研究期間は R3 年度まで延長が認められたが、新型コロナウイルス感染症は収まることがなく、フィリピンへの渡航の目途が立たない状況が継続したため、国内実験を継続した。UAV 課題は固定翼機の飛行能力向上と最長飛行距離・最高飛行高度試験、無人船水深探査実験、地すべり RTKGNSS 実験、投下式無線地震計製作、無線テレメタ地震計・潮位計製作を行った。R4 年 1 月末時点でフィリピンへの渡航はできていないが 3 月のマニラ訪問とワークショップを計画している。

## (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)

### 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

高高度の火山空撮や長距離・広範囲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 課題で開発・活用した VTOL 型小型電動発泡スチロール機体 (MiniTalon) の改良を行った。e-Asia 課題では固定翼機で標高差 2000m のマヨン火山の空撮を行ったが、離着陸に広い場所と操縦技術が必要なため導入に障害があったため、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ため、本課題ではドローンレーサー用モーターを用いて効率化を図った。次に主翼を延長して揚力を増大しより大きな飛行距離を達成した。



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高高度飛行試験を行った。R2 年度は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 で前進できなくなったため実験を中止した。R3 年度は、弱風の日を選び高度差 4725m を達成することができた。バッテリー消費は 43%であった。これらの実験により、世界中のいかなる大高度差の火山であっても風速の小さい日を選べば麓からの火口空撮調査が実現できることが証明された。



図 2-2-2-1 固定翼機大高度差飛行実験



図 2-2-2-2 高度差 4725m の軌跡

### (2-3) 北海道 火山空撮

フィリピンの火山の 3 次元地形モデリングを想定して、R2 年度に北海道のアトサヌプリ・恵山の 2 火山で空撮とデータ解析の実験を行った。いずれの火山も山体は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、この程度の調査は VTOL 機でも十分可能である。

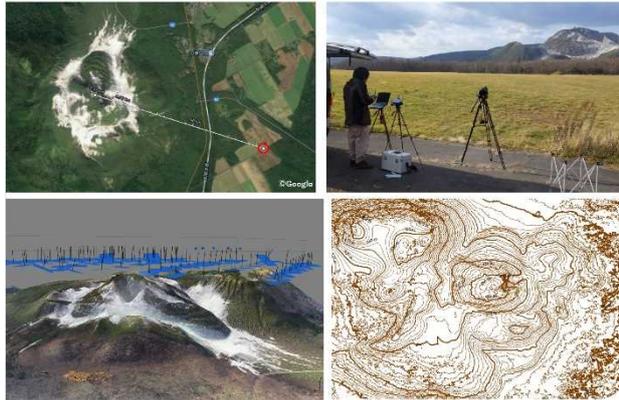


図 2-2-3-1 アトサヌプリ岳空撮・地形モデル製作

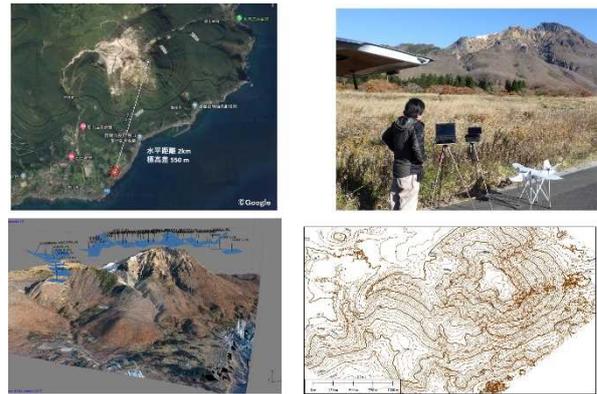


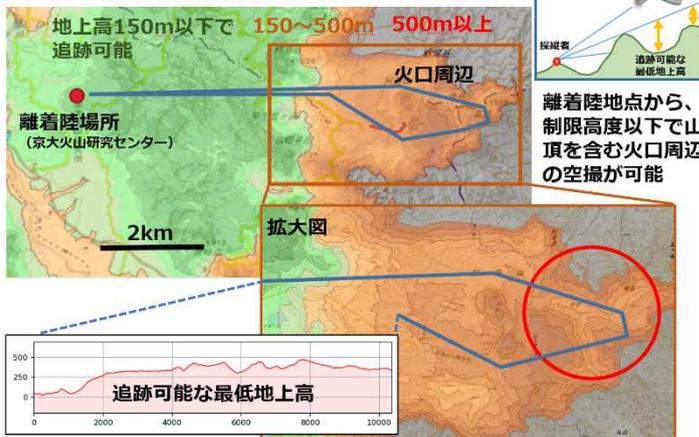
図 2-2-3-2 恵山空撮・地形モデル製作

#### (2-4) ドローン可視高度マップ

山岳地の飛行では地表との衝突を避けるために対地高度を大きくとる必要がある。航空法と地表解像度の制限で決まる最大対地高度を超えない飛行経路を決定するために、操縦者位置からドローンに電波が届くための「最小対地高度」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小対地高度を表示する。計算時間はノート PC で 10 秒程度と高速である。

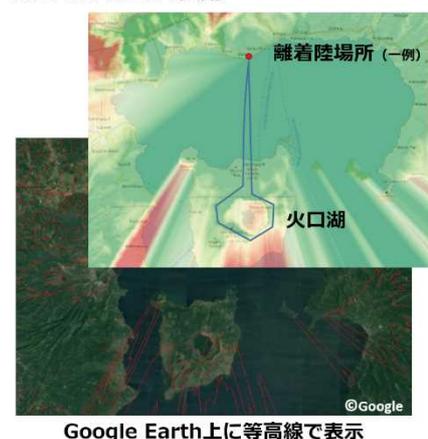
##### ■事例①阿蘇山

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) UAV 吊下げ・投下実験

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となる、吊下げ・投下機構を試作し実験した。軽量サーボ(9g)で十分な保持力を保つために吊り下げ張力を8分散する機構を採用した。また、不用意に落下させないためにサーボを二重化した。機体は DJI F450 のフレームに DJI E600 推進機構を取り付けたものを用い最大吊下げ能力はバッテリー込みで 2 kg 程度である。最大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搭載してタール湖上のボートから飛行させ、火山島の山腹に投下して臨時観測を行うことを目標とした。

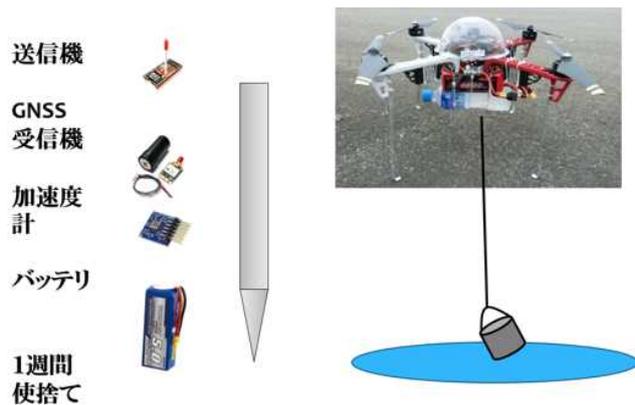


図 2-2-5-1 ペネトレーター・湖水サンプラー

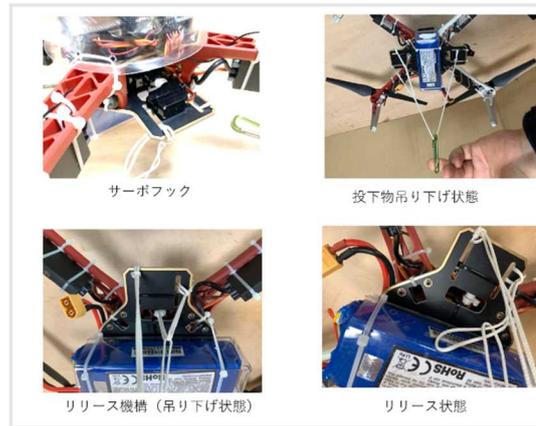


図 2-2-5-2 つり下げ・リリース機構

この吊り下げ・投下用ドローンを用いて、最大飛行時間測定、置き型無線地震計の設置・回収、およびペネトレーター型無線地震計の投下実験を行った。1 k g のペイロードを搭載して、6S 10400mAh のバッテリーを 4 個搭載して 20 分間の飛行ができた。時速 30km で飛行すれば片道 5km、余裕を見て 3km 先を往復できるため、タール火山の火山島での観測に十分使える能力があることがわかった。

投下実験は機体および場所に関して国土交通省の承認を得て実施した。物体を吊り下げた飛行は振り子の周期と制御の応答遅延による共振が発生しないように振り子の長さを調整する必要があることがわかった。ペネトレーターは地面に適度な深さにささる必要があるため、地面の性状に応じた先端形状、重量、投下高度を調整する必要がある。現時点ではまだ実用的な指針が得られていないため、引き続き実験を行う予定である。



図 2-2-5-3 つり下げ実験



図 2-2-5-4 下方カメラ (上)  
回収フック (下)



図 2-2-5-5 ペネトレーター投下実験

## (2-6) 固定翼 UAV 用噴煙サンプラー試作

噴火の推移予測には火山灰の採取が有用であるが、地表での採取は噴火日時との対応が必ずしも明確でなく、場所が限定され、噴火規模・風向き・地形にも依存するため、正しく十分な量の情報を得ることが難しい。そのため UAV を用いて空中で噴煙を採取する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自動開閉することにより、任意の位置での採取開始・終了が可能となる。

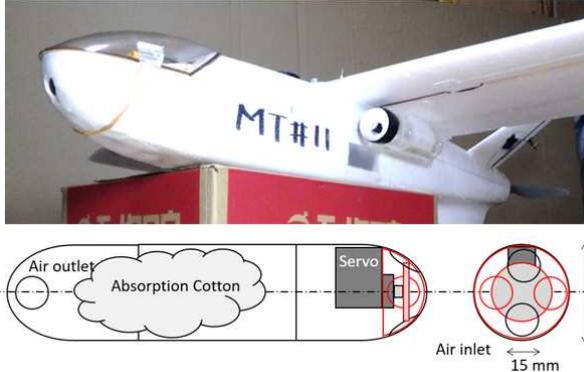


図 2-2-6-1 噴煙サンプラーのデザイン



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 の試作と活用可能性検証

機動性がより高く、万一の墜落時にもより安全な超小型の機体の製作と実証実験を実施した。翼幅 58cm、総飛行重量 350g の DART250G に 10km 到達する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。機体が小さいため網を使って容易に回収できる。フィリピンの航空法の制限が非常に少ない 250g 未満の固定翼機の実用化を目指して機体を試作した。(3 月までに実験予定)

また、火山調査に小型の FPV ドローンを活用する可能性を調べる実験を行った。予備実験では重量 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。(3 月までに追加実験予定)



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 (Google Earth 画像に加筆)

現在の日本の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、2020 年 7 月の豪雨で崩壊した焼岳ヒル谷の幅 20m、長さ 40m 程度の急斜面で実施した。超小型であるが約 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。また、防災科学技術研究所構内で RTKGNSS 受信機とアンテナを搭載して飛行する実験も行った。フィ

【終了報告書】【210531】

リピンでの写真測量用ドローンとして十分活用できる能力を有することが分かった。フィリピンでは現状の航空法では無人航空機の重量の下限が規定されていないが、トイドローンを同様に規制することは理にかなっていないため、いずれ米国に習って 250g の下限が設定されると思われる。

また、機動性と安全性が更に高く、日本でも将来的に航空法の制限を殆ど受けない GPS 搭載 100g 未満ドローンも試作した。ポケットに入る調査ツールとして活用可能である。3 月までに写真測量の実験を行う予定である。



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

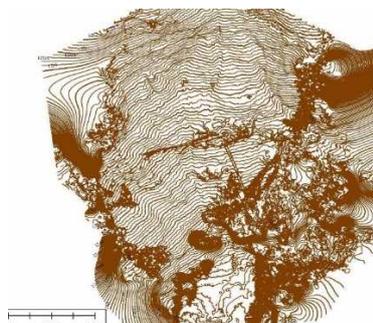


図 2-2-7-4 ヒル谷崩壊地の微地形モデル  
(コンター間隔 20cm)



図 2-2-7-5 100g 未満オートパイロットド  
ローンの試作機

## (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 日および 2021 年 6 月 9 日の 2 回、写真測量を実施した。作成した DSM と 2017 年の 1mDEM の差分解析により、移動体中央部の小地すべりブロックを中心に変動が継続しており、最大 3m 以上の沈下が観測された。現地調査にて不動域と判断した箇所の差分量は約±1m 以下であり、植生の生育状況による誤差と判断できる。ただし、2020 年の撮影時に凹地を中心に 10cm 程度の積雪があり、2020 年から 2021 年にかけての融雪期の変動は抽出できなかった。

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サーキット場の大規模斜面崩壊について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亀裂が発達し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 による写真測量の結果、①堆積土砂は流れ山・側方リッジ・末端崖などの堆積構造を持つこと、②崩壊は上部・下部の 2 回に分けて発生したことが示唆された。また、崩壊前の 2mDEM との差分解析により、崩土の堆積厚は平均 3m、総量約 5 万 m<sup>3</sup> と推定された。

上記の調査から Phantom4RTK を用いた写真測量および差分解析により、およそ 1m 以下の斜面変動を抽出できること、復旧作業において重要な崩壊土砂量を簡便かつ正確に推定できることが示された。

【終了報告書】【210531】

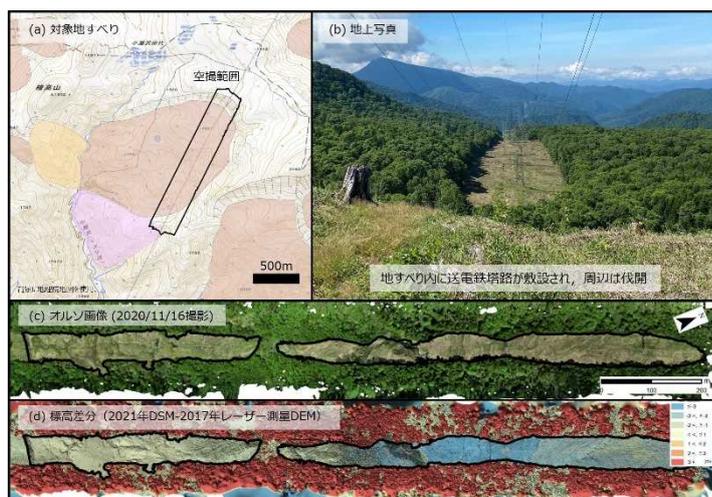


図 2-2-8-1 尾瀬地すべり写真測量



図 2-2-8-2 二本松地すべり写真測量

(Google Earth 画像に加筆)

### (2-9) 三宅島の中央火口空撮とモデリング

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 程度の深い凹部となった中央火口が存在する。中央火口を回転翼 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。

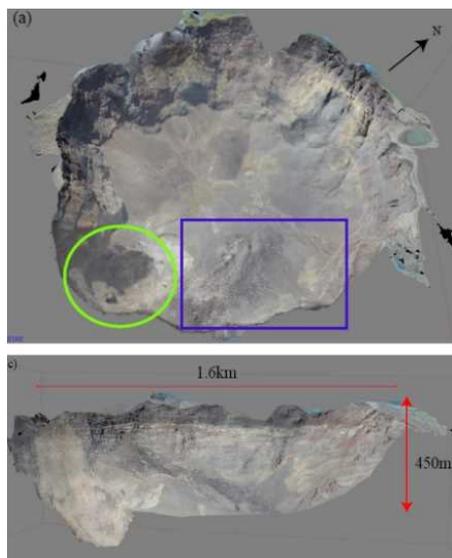


図 2-2-9-1 三宅島火口 3D モデル (2015 年作成)  
右端が当時水の溜まっていたスオウ穴



図 2-2-9-2 平湯温泉スキー場での下降飛行実験

2021 年 12 月に三宅島火口の北側のスオウ穴の火口縁から回転翼ドローン空撮を行った。離陸して約 1 km 先の中央火口上空まで水平に飛行させて、高度を-200m 程度まで下げて中央火口内を撮影した。

【終了報告書】【210531】

得られた 90 枚の画像から中央火口の 3D モデルを作成した。



図 2-2-9-3 スオウ穴でのドローンの操縦

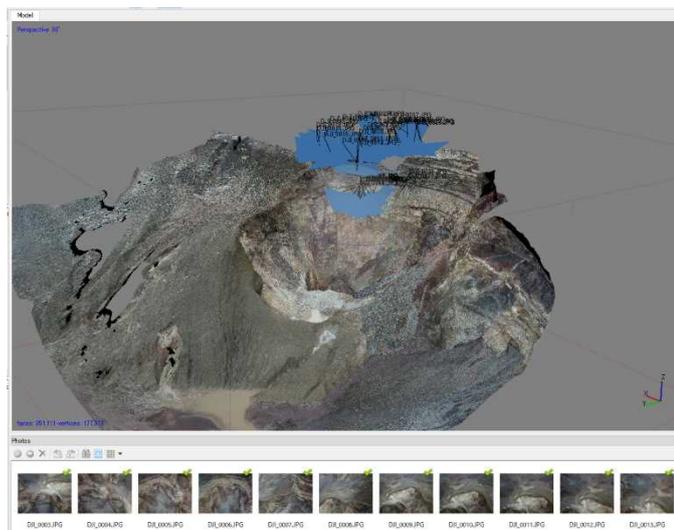


図 2-2-9-4 三宅島火山中央火口の 3D モデル

#### (2-10) 水深調査用無人・半自動操縦船の試作

津波ハザードマップの高度化のために海岸近傍の水深データにもとづく数値計算が必要となるが、フィリピンでは精度の高い浅海のデジタル水深データが整備されていない。また、2020 年に噴火したタール湖は噴火前は中央火口湖が存在したが、定期的な湖底地形の調査はなされていなかった。また、火山島を取り囲むタール湖は噴火で湖底地形が変化している可能性もあるが、噴火前も噴火後も調査手段がなかった。そこで、本課題では安価な魚群探知機を用いて高頻度で水深調査を行うための二種類のシステムを試作・実験した。

広い水面の調査あるいは波の高い海の調査には有人船が適しているため、調査を省力化するための半自動操縦装置を試作、実験した。操縦席に無人機の制御装置、GPS アンテナ、サーボからなる装置を搭載して、運転者はサーボアームの動きに従って操舵することにより、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。技術・知識が要らないため複数のチャーター漁船による効率の良い調査が可能となる。フィリピンでは PHIVOLCS のブコ火山観測所所有のボートに取り付けてタール湖の水深調査をおこなう。また、海の調査は漁船を借り上げて行う計画である。



図 2-2-10-1 タール湖の PHIVOLCS 所有船

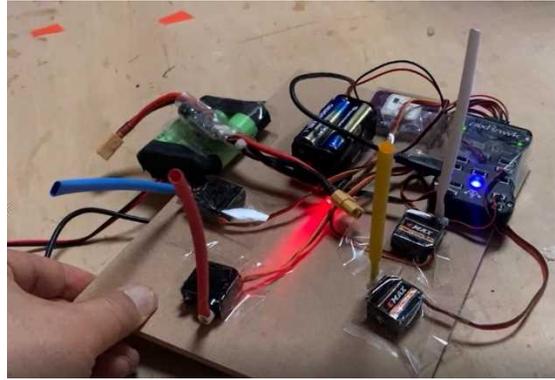


図 2-2-10-2 半自動航行支援装置試作品

より狭い湖水や海岸近傍の狭い範囲の水深調査のために無人船を製作した。フィリピンで簡単に材料を入手して簡単に製作できるように、船体には発泡スチロールの板を用いた。推進装置にはウォータージェットを用いた。長さ 50 センチの試作品を作り、公園の池で動作を確認した。本番用は長さ 1m の船体を作り、霞ヶ浦で実験したのちに、青森県の十二湖で実施された地すべりによる水没林と湖底調査に参加して、湖の水深調査を行った。



図 2-2-10-3 十二湖の水深調査  
無人船（左）と水没樹木採取作業（右）



図 2-2-10-4 十二湖の水深調査  
航跡監視（左）と魚探画面の映像伝送（右）

ウォータージェットは逆回転ができないので船に不可欠の後退機構が別に必要なこと、船体への取り付けが難しいこと、モーターと ESC の水冷が必要なこと、ノズルの舵が必要なことなどの問題があることがわかった。そこで、より簡単な推進機構である左右一対の水中スクリューおよび左右一対の空中プロペラ（エアースポート）からなる船体を製作して実験した。両者を比較すると、エアースポートのほうが水中に突起物がないため高速でなめらかに走行できること、水中の障害物に影響されないこと、水に浸かる部品がないのでメンテが容易なこと、部品が飛行機と共通のためフィリピンでも入手しやすいこと、といった多くのメリットがあるため、実際のフィリピンでの調査にはエアースポートを採用することとした。船体はより大きな波に耐えるために、幅はそのまま長さをも 2 メートルに延長し、運搬時は分解できるようなものを設計中である。

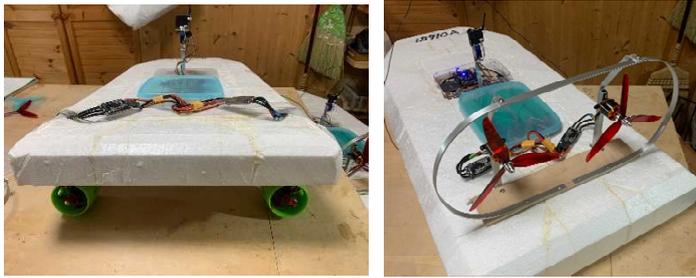


図 2-2-10-5 水中モーターボート (左) とエアースト (右)



図 2-2-10-6 走行するエアースト

## (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 Rcvd	pcs prev. order	Total rcvd
1	X-UAV MiniTalon Kit	9	Arturo Daag	112520 ASD	10	1	11
2	Plane Prop 10x7 GEMFAN 2pcs	5	Arturo Daag	092120 ASD	5		5
3	Plane Motor Racerstar BR3536 1200KV	9	Arturo Daag	110420 ASD	8	1	9
4	Plane ESC Ygeed 40A 50EC	9	Daniel Buhay	092420 DILB	8	1	9
5	Servo EMAX ES08A II (4pcs)	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	8	1	9
6	Quad Motor Racerstar SIC 2207 2388KV (4pcs)	9	Arturo Daag	110420 ASD	9		9
7	Quad ESC 30A Vecome	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	9		9
8	Holybro Pixhawk 4 mini with GPS, PM	9	Julius Galidano	101220 ASD	8		8
9	Flysky FS-I40B receiver	9	Arturo Daag	110420 ASD	9		9
10	Holybro SIK Radio 433MHz 500mW	9	Arturo Daag	101220 ASD	8		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		10
13	XT60 M-F connector 10 pairs (for plane & PowerSW)	4	Daniel Buhay		1		2
14	Aluminum tube 5 x 3 x 300mm (100mm x 2/plane)	18	Arturo Daag	092820 ASD	18		18
15	Aluminum tube 7 x 5 x 300mm (120mm x 2/plane)	9	Arturo Daag	092120 ASD	9		9
16	Servo Ext. cabl 30cm (V-tail x2) (10pcs)	2	Robelyn Mangahas		2		2
17	Servo Ext. cabl 20cm (Quad x4) (10pcs)	4	Robelyn Mangahas	092420 RZM	4		4
18	Servo Ext. cabl 15cm (Motor, Aileron) (10pcs)	2	Robelyn Mangahas	092420 RZM	2		2
19	Servo Cable 20cm (PPM x1) (10pcs)	1	Daniel Buhay		1		1
20	JST-GH cable 20cm (SIK Radio) (20pcs)	1	Arturo Daag	101420 ASD	1		1
21	Power cable for Quad 18AWG 2m Blk+Red (50cm x 4)	9	Daniel Buhay	092420 DILB	9		9
22	Power cable for Plane 16AWG 1m Blk+Red (50cm x 4)	5	Daniel Buhay		5		5
23	USB cable (30cm FmicroB-FmicroB) (Pixhawk)	9	Daniel Buhay	092420 DILB	9		9
24	Plywood 2x 200x 300mm (2x450x200mm)	5	Daniel Buhay	092420 DILB	5		5
25	Servo Ext Y Wire Cable 15CM	9	Robelyn Mangahas	092420 RZM	9		9

図 2-2-11-2 実習部品 (第 1 回)

## (2-12) フィリピンでの UAV 実装にむけたマニュアル制作と指導

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。

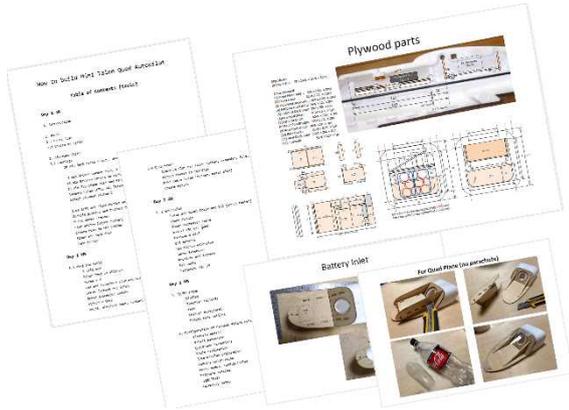


図 2-2-12-1 固定翼 UAV 組立マニュアル

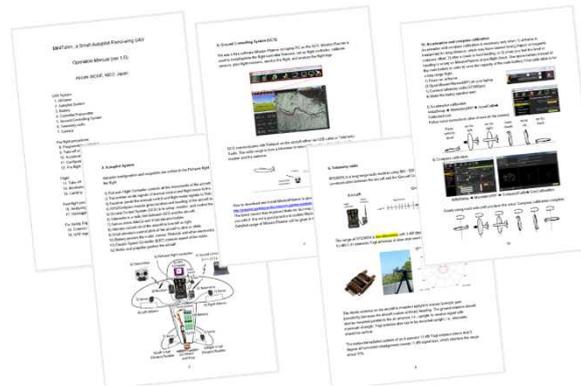


図 2-2-12-2 固定翼 UAV 運用マニュアル

PHIVOLCS では UAV プロジェクトが開始され、新たに雇用された 1 名の技師がこの組立マニュアルを用いて固定翼機体の組み立てを開始した。



図 2-2-12-3 PHIVOLCS で組み立てられた固定翼 UAV 組立マニュアル



図 2-2-12-4 PHIVOLCS の UAV 操縦自主訓練 (回転翼)

## 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。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・ライドマテッ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った。10月に再度蒲田川の現地で機材の確認に行ったところ、機材一式がなくなっていた。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が流失し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。現在、通信中継小屋が電源喪失からの復旧中のため、通信中継小屋でのデータ受信体制は整っていないが、代替として観測点よりもアクセスの容易な中継点でのデータ記録を行っている。また、RTK解析を行う際の基準点を京大砂防観測所屋上に設置し、常時GNSSデータを受信、静岡大学のサーバにインターネット経由で送信し、記録を続けている。

【終了報告書】【210531】

本実験では、省電力のための間欠動作やソーラー電源の不安定、通信のバッファオーバーフロー等、現場環境に設置し、ある程度長期間の安定した動作を行う際の諸課題を確認することができ、観測結果の取得とともに、フィリピンでの実装機材に必要な条件等の洗い出しを行うことができた。



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

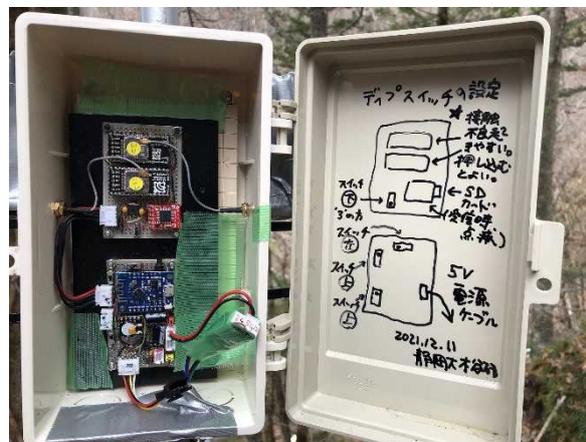


図 2-3-4 中継点制御ボックスの中身

### (3-3) 浜松市天竜区での観測実験及び、リアルタイム測位の精度評価

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。結果としては、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。2022年度は、同天竜区秋葉トンネル近傍の斜面地形についても同様の観測を試みている。秋葉トンネル近傍の斜面では、樹木が生い茂っているため、RTKGNSSによる精密測位には必ずしも条件がよくないが、年度末までには観測結果に合わせて、悪条件下での精度等の限界についても検討する。



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) 高精度単独測位 (PPP) とリアルタイム測位解析の評価と精度検証

焼岳ヒル谷や浜松市での観測実験は、基本的に RTK 解析については、データ取得後 PC を用いて後処理解析する手法 (PPK : Post Processed Kinematic) での精密測位を行っている。PPK は解析パラメータのチューニングの自由度が高いため、精度の追求には適しているが、地すべりの住民へのアラートを行う場合はリアルタイム解析が必要となる。

我々はリアルタイムに高精度の精密測位を行うための手段としての高精度単独測位 (PPP : Precise Point Positioning) 手法と、GNSS 受信機の内蔵 RTK 解析エンジンでの処理を活用したリアルタイム解析手法について精度と性能の評価を行った。

PPP では、RKT と異なり基準局を必要としない高精度測位が可能であるが、我々が検証した海外でも使用できる MADOCA システムでは、電源オンから測位座標が収束するまでにおよそ 30 分程度を要した。また、現時点で精度は 10cm 程度の収束となっている。

GNSS 受信機の内蔵 RTK 解析エンジンでの処理を活用したリアルタイム解析については、GNSS 受信機の他、基準局と観測局の間で GNSS データを送受信する高速通信を担保する必要があり、衛星信号受信・通信・RTK 解析という 3 つの機能を兼ね備えた基盤 (ArduSimple RTK2B) を活用した評価・精度検証を行った。精度の評価としては 1cm 程度の収束を得ている。この精度は、後処理によるミリメートル精度には劣るが、地すべりのアラートのために有用と考えられる。また、数時間単位での長時間観測を行った際の衛星の配置の変化等に由来する系統的なエラーについては別途、年度末までに評価を行う。



図 2-3-7 上段：PPP 受信機とアンテナ、下段：PPP による移動体精密測位



図 2-3-8 左上は使用した基盤、右上は実験風景、左下が後処理測位結果、右下がリアルタイム測位結果

### (3-5) 市販 RTKGNSS 搭載 UAV の精度検証と、後載せ RTKGNSS 搭載 UAV による測位手法の精度検証

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、市販の測量用 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。

また、高価な測量用 UAV を用いずに精密な写真測量を行うことを目的として、安価な RTKGNSS 受信機、アンテナ、電源、データロガーを一般の UAV に後載せした機体を用いた UAV 航空写真測量の実験を、中部大学研修センター (岐阜県恵那市) において実施した。現在解析処理を実施しており、年度末までに精度検証と評価の結果を求める。



図 2-3-9 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

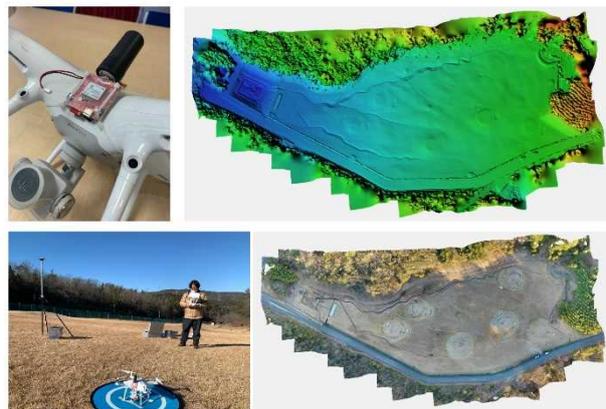


図 2-3-10 中部大学研修センターにおける実験で作成した地形図 (右上) とオルソ写真地図 (右下) 左上は一般の UAV に GNSS を後載せした機体、左下は実験風景

### (3-6) フィリピン向け RTKGNSS 機材検討と機材調達・輸送

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、調達とフィリピンへの輸送を行った。輸送は数回に分けて行き、日本側で組み立てたサンプル機材、や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等の輸送を行った。使用方法についても、資料や情報提供の他、オンラインでの説明も併せて実施した。



図 2-3-11 2021 年度に PHIVOLCS に納品された RTKGNSS 機材

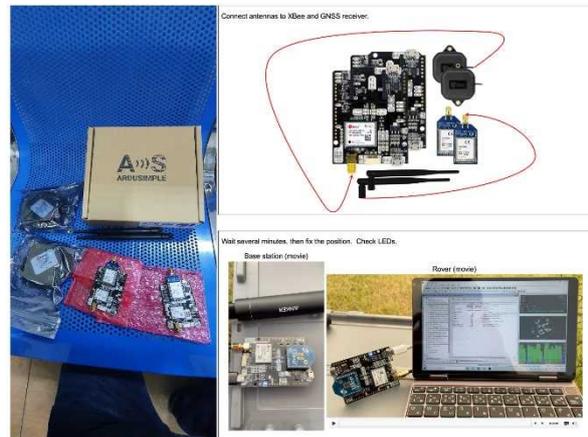


図 2-3-12 2022 年度に PHIVOLCS に納品された RTKGNSS 機材と、オンライン使用方法説明時資料

### (3-7) PHIVOLCS による RTKGNSS 社会実装実験

フィリピンでは、輸送した機材等を用いて、PHIVOLCS が運用する既設の地すべりモニタリングシステム「DYNASLOPE」への RTKGNSS 組み込み実装実験を進めており、オンライン会議で情報共有を行っている。電源まわりや通信等については PHIVOLCS でセットアップを実施した。実験では、初期的な精密測位結果は得られているものの、現在精度 (収束) に課題が残る状況である。原因詳細については、フィリピンに渡航できるようになった際に、現地で機材を確認する必要があるが、現時点では基準点・観測点間の通信による問題が考えられるため、国内実験の検討結果をフィードバックし、年度末までに機材やセットアップのアップデートによる対応の検討を行う。

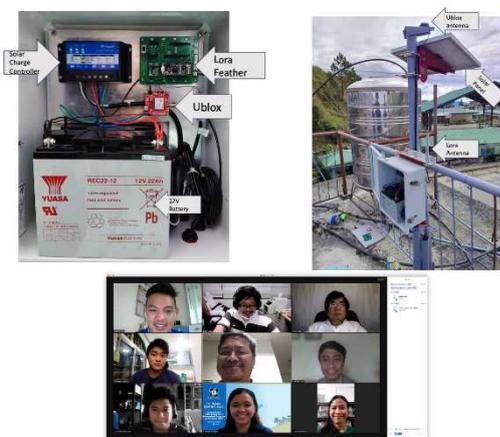


図 2-3-11 上段は DYNASLOPE ステーションに組み込まれた RTKGNSS 基準局、下段はオンライン会議の様子

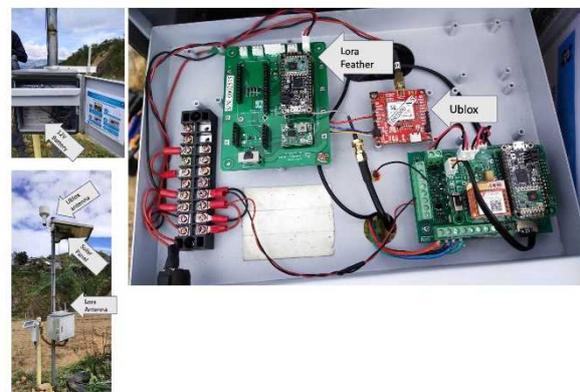


図 2-3-12 DYNASLOPE 観測点に組み込まれた RTKGNSS 観測局

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、日本側研究者のフィリピンへの渡航ができていないため、当初の想定とは異なった展開となっているが、カウンターパートの PHIVOLCS の積極的な取り組みにより、社会実装実験が進捗していることは望ましい。

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: 井上公 (Bartolome Bautista が来日できなかったため))

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製作

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的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。近年の地震観測はすべてデジタルであるが、観測点でタイムスタンプを付加して MiniSEED や Win といった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は難しくなる。また、波形のフォーマットはメーカーに依存する。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も対応できる。

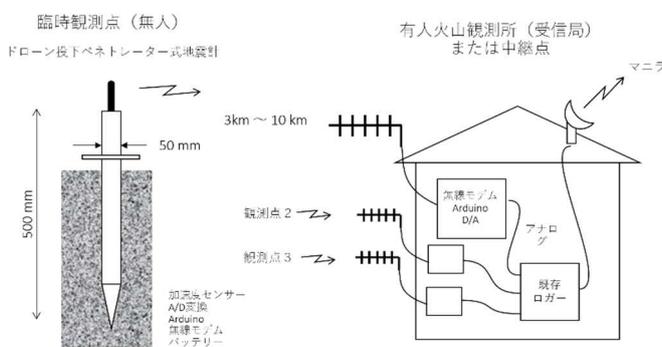


図 2-4-1-1 アナログ入出力無線地震計

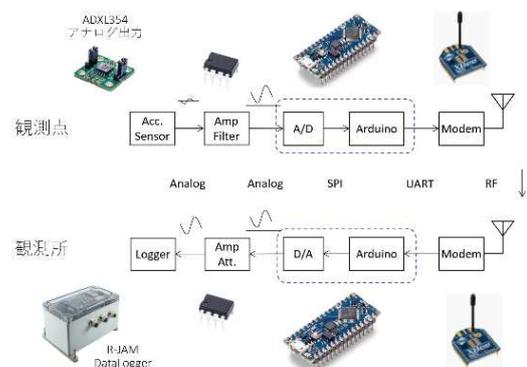


図 2-4-1-2 無線地震計構成図

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、無線通信には低価格・高性能の Xbee を用いた。送信側の AD 変換器および受信側の DA 変換器は実用上十分な 16bit 分解能とした。回路および基板は、フィリピンで PHIVOLCS の技術者あるいは民間の電子機器製造業者による部品調達と製作が容易なように、表面実装は避けて、はんだ付けで製作できるようなものにした。データの伝送はデジタルで行うため、入出力の信号に 20ms の遅延が生じているが、

火山体の地震波の P 波速度を 5km/sec として、震源位置におよぼす誤差は約 100m なので、たとえば差し渡し 5km のタール火山島内部の震源分布図上では 2% の位置誤差となり、速度構造の誤差よりも小さいため、実用上問題はない。

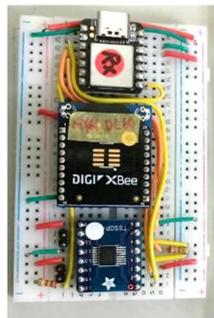


図 2-4-1-3 無線地震計：センサー・変調・送信装置（左）、受信・復調装置（右）

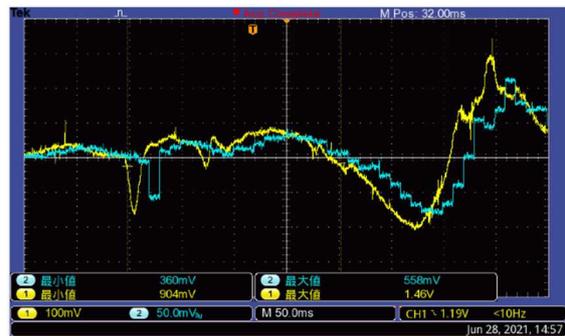


図 2-4-1-4 無線地震計の入出力遅延（20ms）

この無線地震計はドローンを用いて静置方式、またはペネトレーター方式で設置する。静置式の全重量を 1kg に制限した場合、3.2V 3400mAh の 18650 リチウムイオン電池 12 本が争点でき、地震計は 17.5 日稼働する。火山噴火等で観測点が失われた場合の臨時地震観測としては十分といえる。ペネトレーター式に関しては、筐体の最終形がまだ見出されていないため、電力の計算はできていないが、重量が大きくなった場合はその分だけ大きなドローンを用いれば済むことなので問題はない。



図 2-4-1-5 静置式無線地震計の防水容器および内蔵バッテリー



図 2-4-1-6 静置式無線地震計

#### (4-2)無線潮位計

SATREPS 課題で不具合が多かった無線潮位計を改良したものを製作中である。SATREPS では水中に没する圧力センサーを用いたが、海水中は長期的には電蝕や水中生物による不具合が発生する恐れが大きい。そこで最大測定潮位を犠牲にして、圧力センサーではなく超音波センサーを用いることにした。また SATREPS では超長距離超低電力無線の MAD-SS（数理設計研究所）を用いたが、フィリピンでの長期安定入手性が保証されないため、長距離タイプの Xbee 無線を用いることとした。システムを極力シンプルにするために、マイコンは使用せず Xbee の内蔵 A/D 変換器と、Xbee の通信コマンドを用いて、観測所のパソコンから観測点の潮位を定期的に読み出すシステムとした。R4 年 1 月 31 日現在システムを製作中である。

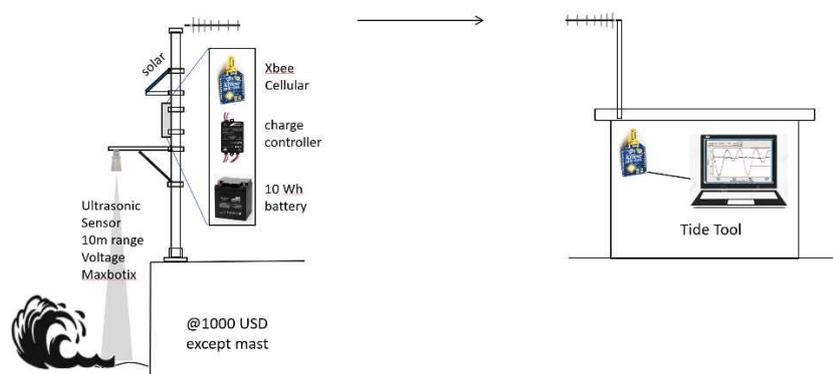


図 2-4-2-1 超音波水位センサーと Xbee 無線を用いた潮位観測システム

#### (4-3) 水深測定のためのソナー（魚群探知機）の選択

本項は開発ではなく、市販の魚群探知機およびソナー（トランスデューサー）の選択である。十二湖の水深調査ではボール型の投げ込み式魚探 DeeperSonar をボートでけん引した。非常に手軽な点がメリットであるが、最大水深は 80m までで、スマホとペアで用いるため、船上に取り付けたスマホとの Wifi が航行制御の 2.4GHz 無線と混信するという問題があった。複数メーカーの低価格魚探を比較検討した結果、Garmin 社製 Echomap 45cv に深場用ソナー GT21-TM を取り付けたものが、安価でかつ到達深度が 400m と深く、我々の目的に適していることが分かった。この魚探を用いて 3 月までに田沢湖および駿河湾で 200m 以上の水深の探査実験を実施する予定である。

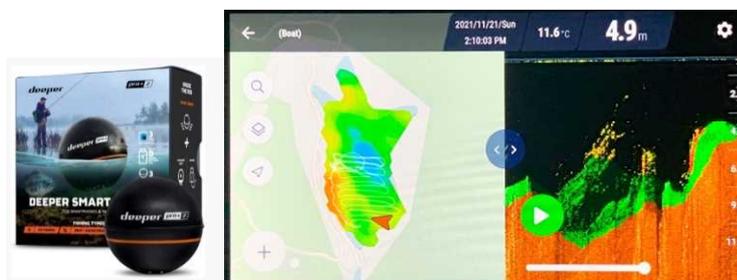


図 2-4-3-1 投込式魚探 Deeper Pro と十二湖の水深マップ



図 2-4-3-2 Garmin ECHOMAP 45CV および GT21-TM トランスデューサー

#### (4-4) 低価格高性能 LiDAR による 3D 地形計測

地形を詳細に解明する為には、高密度・高精度の 3D 情報の取得が重要である。近年、このような情報の収集には、本プロジェクトで推進している UAV による空撮画像をもとに地表数値モデル (DSM: Digital Surface Model) を作成する手法が広く用いられている。この手法では、植生に覆われた地域では地表を検出できず、地形を詳細かつ正確に把握することができない。このため、空中からレーザーを照射し地形を把握する LiDAR 測量が有効であるが、機材が高価であり途上国において運用することは容易ではない。このため、最近、発売された安価な小型軽量・高性能の 3D LiDAR を用いて地形計測を行い、フィリピンでの実装を目指す。

これまでの 3D LiDAR はレーザーと検出器を機械的に回転させる筒状のものが多く、小型・軽量化が難しく、価格も数百万円から数千万円と極めて高価であった。これに対して、今回使用した LiDAR は Livox 社製のソリッドステート式 LiDAR (Avia と MiD-70) である。これらの LiDAR には、回転するプリズム以外には機械部分がなく、非重複走査技術によって水平・上下方向 70 度以上の広い視野角で高精度の高密度の点群データ (Avia : 最大で 72 万点/秒・Mid-70: 最大で 20 万点/秒) を取得できる。このため、Avia は 20 万円未満、Mid-70 は 10 万円未満で既存の LiDAR とは比較にならない低価格となっている。

三宅島の七島展望台付近に分布する 1983 年三宅島噴火の際に流出した溶岩流を Livox Avia を用いて計測した。データ取得には、オペレーティングシステムに Linux(ubuntu) をインストールしたノート PC にソフトウェア開発キット (FAST-LIO ([https://github.com/hku-mars/FAST\\_LIO](https://github.com/hku-mars/FAST_LIO))) をインストールし、データの取得状況をリアルタイムで確認しつつ計測作業を行った。取得した点群データから植生を除去した地表面の高さ情報である数値標高モデル (DEM : Digital Elevation Model) を作成する際は、点群処理ソフトウェアである Cloud Compare を使用し、Cloth Simulation Filter を用いて樹木を取り除いた。



図 2-4-4-1 Livox MID-70(上) および Avia(下)



図 2-4-4-2 三宅島七島展望台付近における Livox Avia を用いた溶岩流地形の計測

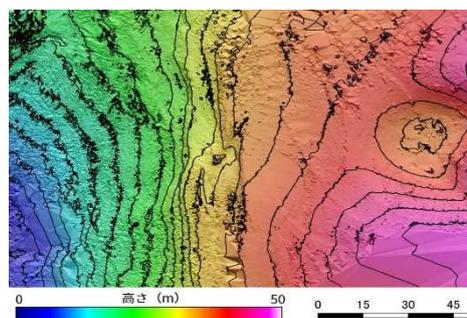


図 2-4-4-3 三宅島七島展望台付近の溶岩流地形モデル。

また、Mid-70 を用いて京都大学防災研究所穂高砂防観測所ヒル谷観測流域における溪岸崩壊残留土砂の移動変化の計測を試みた。崩壊地の対岸に LiDAR を設置し、7 月 11 日と 8 月 16 日の比較を行ったが、その期間では崩壊残留土砂の明瞭な移動は認められなかったが、立ち木などを透過して背面の土砂表面を計測できること、2 時期の差分を取るには点群データの比較用の地上基準点の設置が効果的であることなど、ノウハウを蓄積した。



図 2-4-4-4 ヒル谷の崩壊斜面の LiDAR 計測



図 2-4-4-5 ヒル谷崩壊斜面对岸に設置した Livox Mid-70

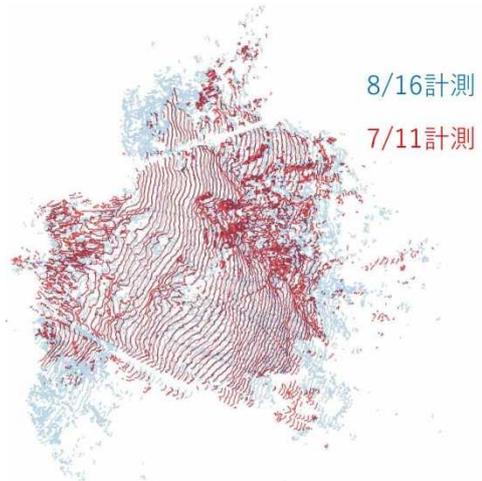


図 2-4-4-6 Livox Mid-70 を用いた溪岸崩壊斜面の 2 時期の等高線図

Avia と Mid-70 は 500g 前後と軽量であるため、小型ドローンに搭載することができれば空中から地表の点群データの取得が可能である。小型ドローンに搭載可能なシステムは、軽量であり尚且つコンパクトであることが求められる。そこで、取得する点群の生データのみを小型 PC に保存し、そのデータを別の PC で後処理する方法を試みた。小型 PC は Raspberry pi 4 Model B を使用し、ドローンと電源を共有することで、重量約 1.0kg かつコンパクトなシステムを構築することができ、地上でのテストでは、小型 PC で取得した生データの後処理によるマッピングも成功した。

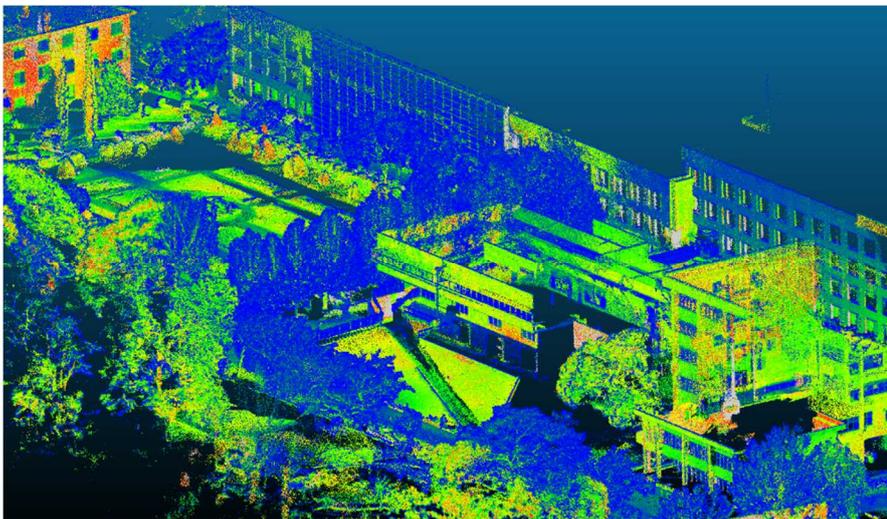


図 2-4-4-7 千葉大学構内におけるドローン搭載用 LiDAR で取得した生データの後処理マッピング

#### (4-5) メッセージフェリーシステム

野外に設置された各種センサーによる観測において、アクセスが悪いために頻繁なデータ回収ができず、また、地形条件等によってテレメータもできない場合に、定期的なデータの回収を実現する方法のひとつに、ドローンを用いたメッセージフェリーシステムが考えられる。センサーのデータはその場で

蓄積され、定期的にドローンが飛来して、データを回収するシステムである。焼岳ヒル谷周辺での砂防観測にメッセージフェリーを導入し、稼働できればそれをフィリピンでの火山・地すべり観測に活用するために、システムの開発を行った。

データ収集・保存・伝送のためのマイコンには **Arduino Xiao** を用いた。センサーノードは 1 分に 1 回タイマーで起動し、データをサンプルして、回収ドローンが飛来して合図を送ってあげればデータを送り、飛来していなければ休止する。ドローンノードは現场上空でセンサーノードにデータ送信要求信号を送り、送られてくるデータを受信・保存し、帰還する。ドローンノードとセンサーノードの通信には **Xbee** を用いる。R4 年 1 月末時点では、無線を用いない直結通信でデータの要求、送信、保存ができるシステムが完成した。2 月中に、無線を用いたシステムが完成する予定である。

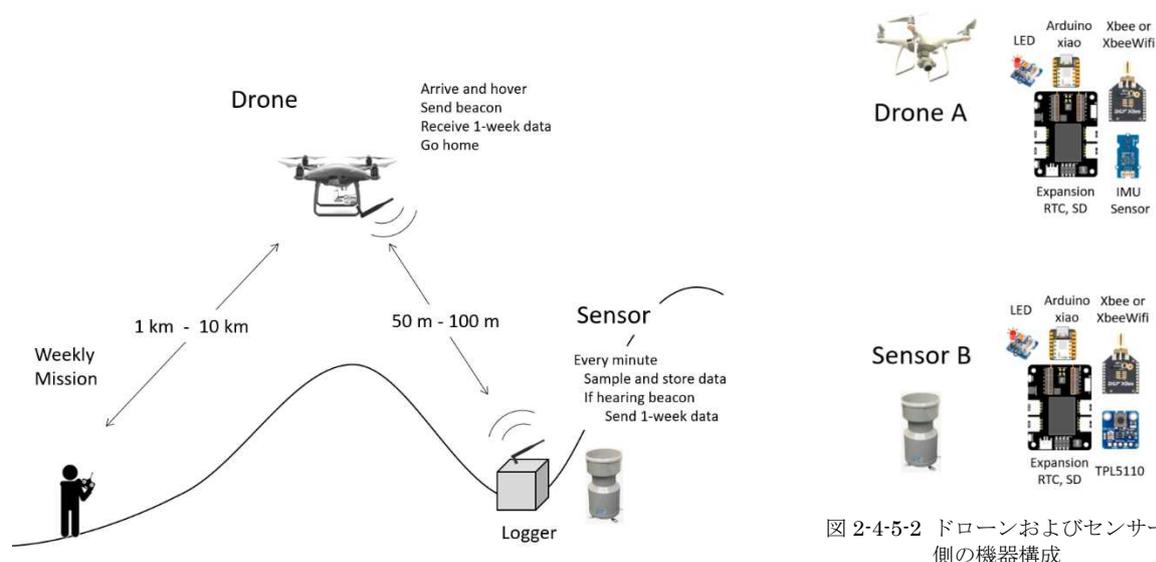


図 2-4-5-1 メッセージフェリーシステム

図 2-4-5-2 ドローンおよびセンサー側の機器構成

### 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、新型コロナウイルス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。そのため、本課題は井上が責任者となった。

センサーとしてごく最近市場に出てきた低価格 **LiDAR** を新たに導入した。これをドローンに搭載して、植生に覆われた地域でも地形を高精度にモデリングできる手法をフィリピンに導入することを目指した。

また、センサーで得られたデータの回収方法のひとつとして、メッセージフェリーシステムの開発を新たにおこなった。

### 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ったが、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。

R3年度計画策定の2月時点では、渡航開始を7月としていた5月の時点では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た。しかし、その後も我が国でもフィリピンでも感染症は収束しなかった。

一部の課題ではシステムの設計・製作および国内実験が遅延していたが、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とした。現地でルソン島の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計画であったが、新たな変異株の感染拡大で、R4年1月時点でも渡航の見通しが立っていない。

しかし国内では数多くの実験を実施することができ、一定の成果が得られている。3月末にフィリピンに渡航して、それらの一部の実験をPHIVOLCSが独自で実施できるように短いワークショップを開催する予定である。また、PHIVOLCSは数年前にSATREPS課題のフォローアップ研修の技術協力をJICAに要請しており、本aXis課題で取り組んだ技術の導入が要請に追加されれば、社会実装が実現される可能性が高い。

## 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。

新型コロナ感染症の影響で活動計画が大幅に遅延し、最悪は期間中にまったく渡航できない可能性も高いが、その場合は3月にオンラインのワークショップを集中的に行う。

### (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った。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

【終了報告書】【210531】

な実験の開始を指示できる状況にはなかった。現地にも一度も渡航せずに初期の目標を達成することは不可能なため、実装は後続のプロジェクトにゆだねることになる。

(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た。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た。しかし、そのような困難な状況の中にも関わらず、PHIVOLCS スタッフと技術員は初期実験や情報提供・調整など積極的に取り組み、自力で機材を動かして、さらに、フィールドへの実装も行った。本研究題目は社会実装が当初目標の半分は実現したといえる。

(4) 研究題目 3 : 「センサー・無線活用実験」(リーダー : R2 Bautista, R3 井上公)

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った。問題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 Bautista 氏が、新型コロナウイルス感染症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った。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。その後新たな要素として LiDAR およびメッセージフェリーの実験・開発を実施することができた。

#### IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

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)

本報告時点 (R4 年 1 月末) で未完の国内実験が複数あり、また 3 月には最初で最後のフィリピン渡航を計画している。最終的な報告書にはそれらの成果を追加して報告する予定である。

以上

【終了報告書】【210531】

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。)
R3	森淳平, “地すべり監視のためのRTK GNSS受信機システムの開発とその評価”, 中部大学工学部2021年度卒業研究中間発表会, 2021年10月, 中部大学, 愛知県春日井市.				

論文数 1 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

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件  
公開すべきでない特許出願数 0 件

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	北海道アサマプリ・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	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
R3	R3.6.18	無線通信実験	茨城県かすみがうら市	Xbee無線の電波実験
R3	R3.6.24	固定翼UAV実験	福島県南相馬市	ロボットテストフィールドにおける固定翼無人機実験
R3	R3.6.25	無線通信実験	茨城県桜川市	Xbee無線の電波実験
R3	R3.5.19-20	固定翼UAV実験	福島県南相馬市	ロボットテストフィールドにおける固定翼無人機実験
R3	R3.7.3	無線通信実験	茨城県桜川市	Xbee無線の電波実験
R3	R3.7.10-12	焼岳RTKGNSS・LiDAR実験	岐阜県高山市	低価格RTKGNSSおよびLiDARの地形観測実験
R3	R3.9.20-21	LiDAR実験	千葉県勝浦町	鵜原町の海食崖でLiDAR地形計測を行った
R3	R3.9.22-10.2	高高度固定翼無人機実験他	北海道名寄市他	固定翼機高度5000m上昇実験、地すべり地形空撮、火山空撮下見、他
R3	R3.10.5-6	LiDAR実験	千葉県勝浦町	鵜原町の海食崖でLiDAR地形計測を行った
R3	R3.11.13-14	焼岳RTKGNSS・LiDAR実験	岐阜県高山市	低価格RTKGNSSおよびLiDARの地形観測実験、焼岳防災訓練
R3	R3.11.18-24	無人船水深調査・他	青森県深浦町他	十二湖水深調査、田沢湖無人船実験下見、八郎潟電波実験、南相馬水深測定実験、他
R3	R3.12.1-2	焼岳RTKGNSS観測実験	岐阜県高山市	低価格RTKGNSS観測実験
R3	R3.12.2	無人機用ビデオリンク電波実験	茨城県桜川市	ビデオリンク・テレメトリの通信距離実験
R3	R3.12.10-14	LiDAR、回転翼、固定翼、無人船	東京都三宅島	三宅島火口の回転翼空撮、溶岩流のLiDAR計測、RTKGNSSデモ、大路池での無人船実験、
R3	R3.12.16-17	固定翼UAV実験	福島県南相馬市	ロボットテストフィールドにおける固定翼無人機実験
R3	R3.12.26-29	固定翼UAV・無人船実験	三重県伊勢市	宮田川河口における大型無人機実験見学および無人船実験
R3	R4.1.6-11	RTKGNSS・回転翼機	岐阜県恵那市他	無人機搭載RTKGNSS精度検証、大型無人機実験打ち合わせ
R3	R4.1.22	回転翼投下実験	茨城県筑西市	鬼怒川河川敷における投下実験

27 件