

フィリピン・ジェネラルサントス インターナショナル空港UAV測量 およびUAVによる障害物調査

静岡大学名誉教授

(株)日豊 技術顧問

里村 幹夫

2019年5月17日 東測協

「最新測量技術を利用した技術研修会」
赤羽会館

General Santos 国際空港



2018年11月にUAV（ドローン）写真測量を実施
10フライト
1215枚の写真
1～2日の作業でオルソ
フォトを作成

フィリピンでUAVを用いた空港 測量を実施した背景

- 航空機の離発着の自動化が進みつつある。
 - そのため、GBAS（地上型衛星補強システム）やSBAS（衛星航法補強システム）といったGNSSを用いた飛行機の位置決定の精度向上が進んでいる。
- それに空港が対応するには、滑走路の正確なWGS84座標が必要。
- フィリピンも日本と同様に地殻変動の大きな国であり、4次元の精密座標管理が必要。
- また、空港全体の正確な地図の作成には航空測量が必要であるが、UAVを用いることにより、簡便に航空測量ができるようになってきている。
- 東南アジアでの空港測量の実績があり、日本国内で自動運転等に4次元ダイナミック座標の導入を進めている(株)日豊が、座標値の精密決定とともにUAVを用いた航空測量を行った。

航空測量に使用したドローン



(株)三矢研究所製



General Santos 空港での UAV(ドローン)測量の観測 計画

UAV測量 計画測線



基準点測量（計画）

- NIMA（米国画像地図作成局）が2002年に設置した基準点2点（P1とP2）でGNSS測量を実施
- 二周波のGNSS受信機を用い、24時間連続観測を実施。Cut-off角は15度、データサンプリング間隔は30秒
- 取得したデータは近傍のIGS点4～5点を基準点として解析
- 解析にはGAMITソフトウェアを用い、長基線解析を行う。さらにBerneseソフトウェアで照査

空港標定点測量（計画）

- UAV測量用標定点は滑走路周辺に10点(S1 - S10)とターミナル周辺に8点(S11 - S18)を選点
- その18点に対空標識を設置。
- 1周波または2周波のGNSS受信機で観測。
- 観測時間は1時間、仰角15度、データ取得間隔は30秒
- P1とP2は固定で据え置き、S1～S18の18点を順次観測
- 各点の観測終了後に次の点へ移動する。観測時間帯はCAAP(フィリピン民間航空局)と調整
- 解析はP1とP2の2解点を与点とし、トリンブル社製トワイズ・ソフトウェアを用いる

空港UAV空撮（計画）

- 機体：三矢研究所製Virgo940 2機
- 仕様カメラ：ニコンD5300デジタル一眼レフカメラ
- レンズ：単焦点20mm
- 撮影コース：滑走路3ブロック×3コース 計9コース
- 撮影高度：140m.
- 撮影スピード：時速 約20km
- シャッター間隔：5秒
- 写真縮尺：1/7000
- オーバーラップ：75%・サイドラップ：30%
- 図化縮尺：1/1000（+オルソフォト写真）
- オルソ画像作成ソフト：フォトスキャン

UAV測量による障害物調査 (計画)

- 該当障害物選定
- 標定点及び対空標識設置：障害物周辺に4点
- 標定点GNSS観測：与点はP1とP2の2点でGNSS一周波または二周波。GNSS測量2点（S19・S20）観測時間は1時間、Cut-off角15度、データ取得間隔は30秒。
- TS測量：標定点2点（T1・T2）は与点をS19・S20とする。照査のためTSでも従来の障害物測量を実施する。
- 観測終了後に次の点へ移動する。観測時間帯はCAAP(フィリピン民間航空局)と調整。

障害物UAV空撮（計画）

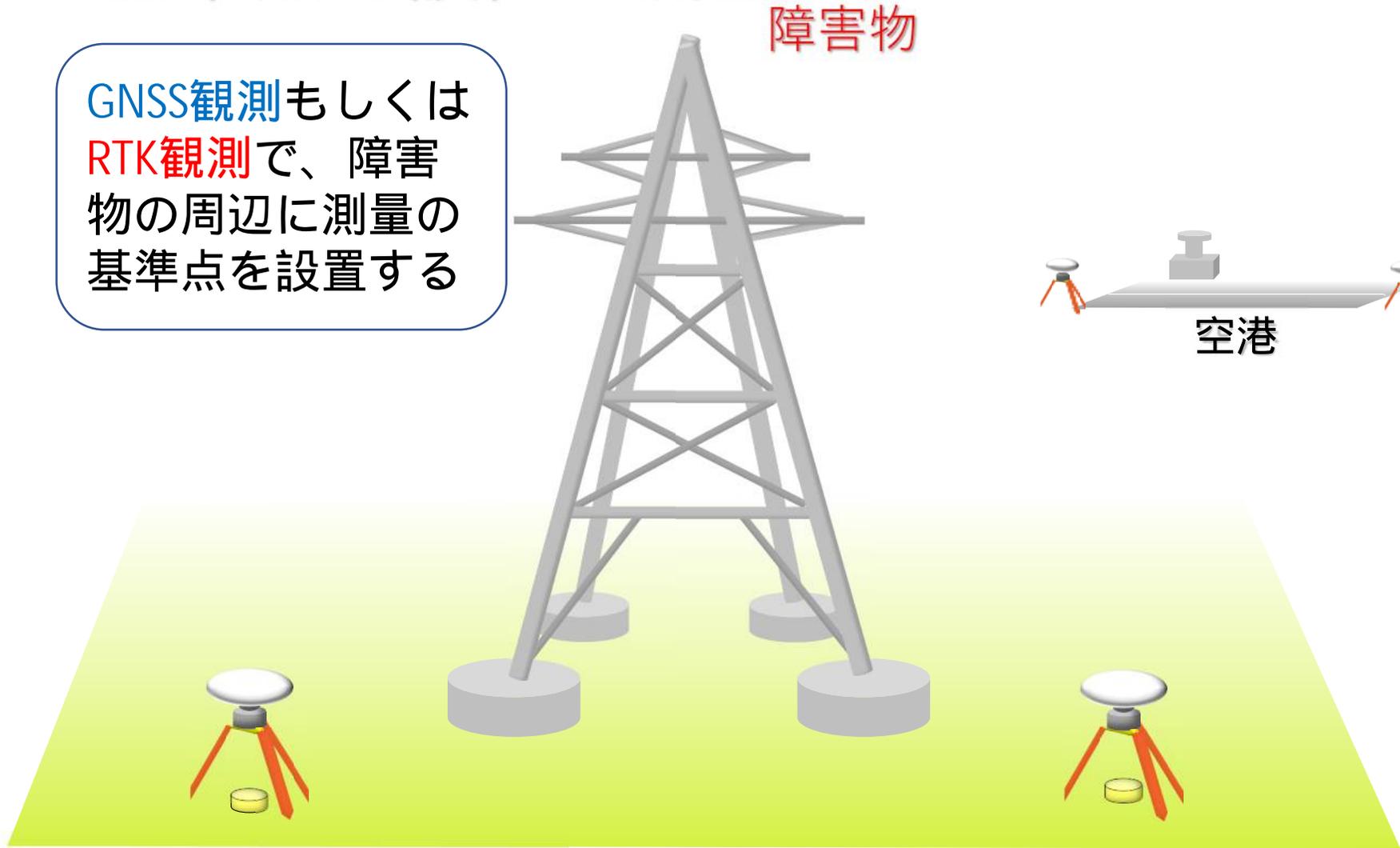
- 機体：三矢研究所製Virgo940 2機
- 仕様カメラ：ニコンD5300デジタル一眼レフカメラ
- レンズ：単焦点20mm
- 撮影高度：50m
- オーバーラップ：60%
- サイドラップ：30%
- 解析ソフト：トリンブル社製 トワイズ
- オルソ画像作成ソフト：フォトスキャン

UAVによる障害物空撮

1. 基準点の設置と測量

GNSS観測もしくは
RTK観測で、障害
物の周辺に測量の
基準点を設置する

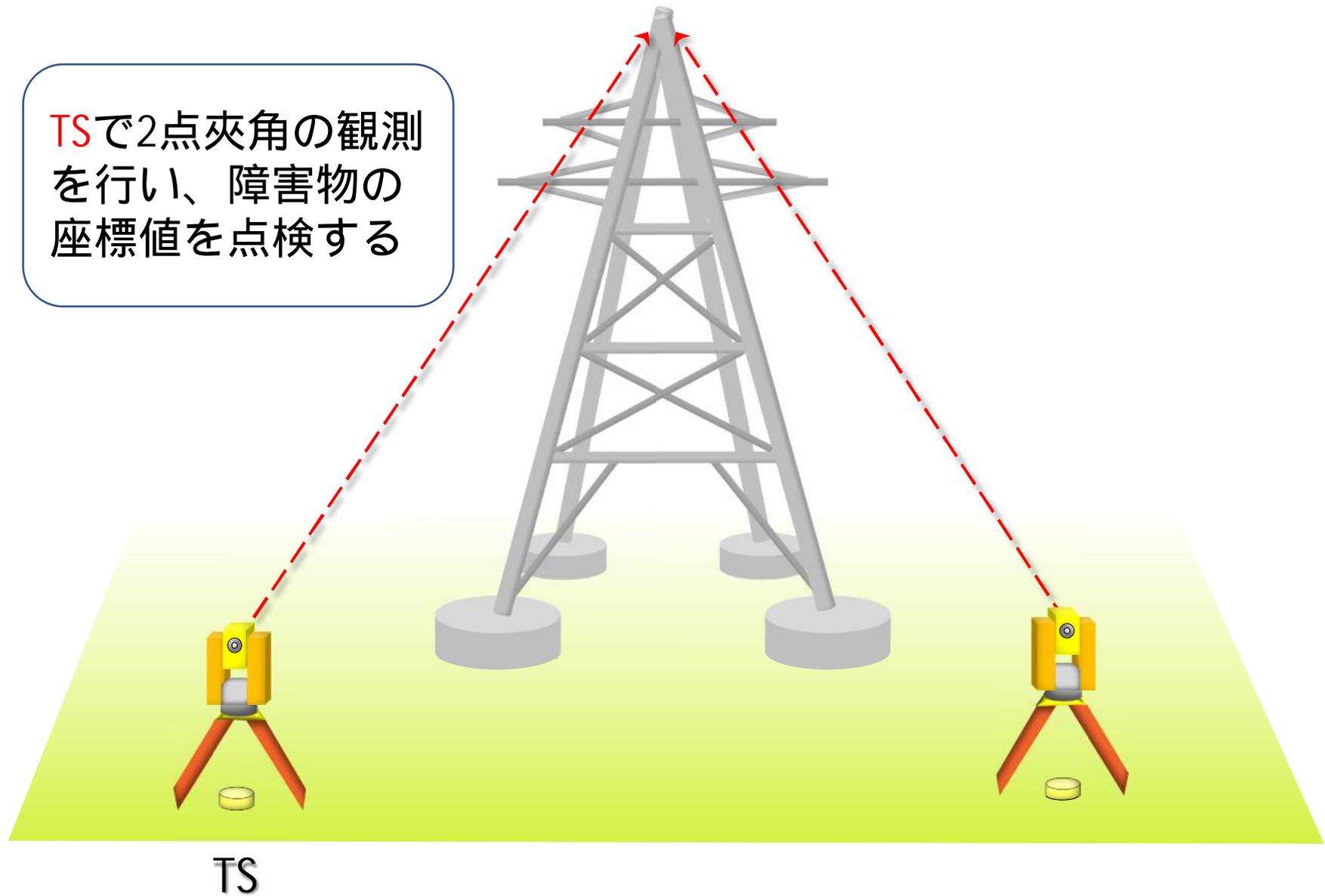
障害物



GNSS受信器およびアンテナ

2. TS(トータルステーション)観測

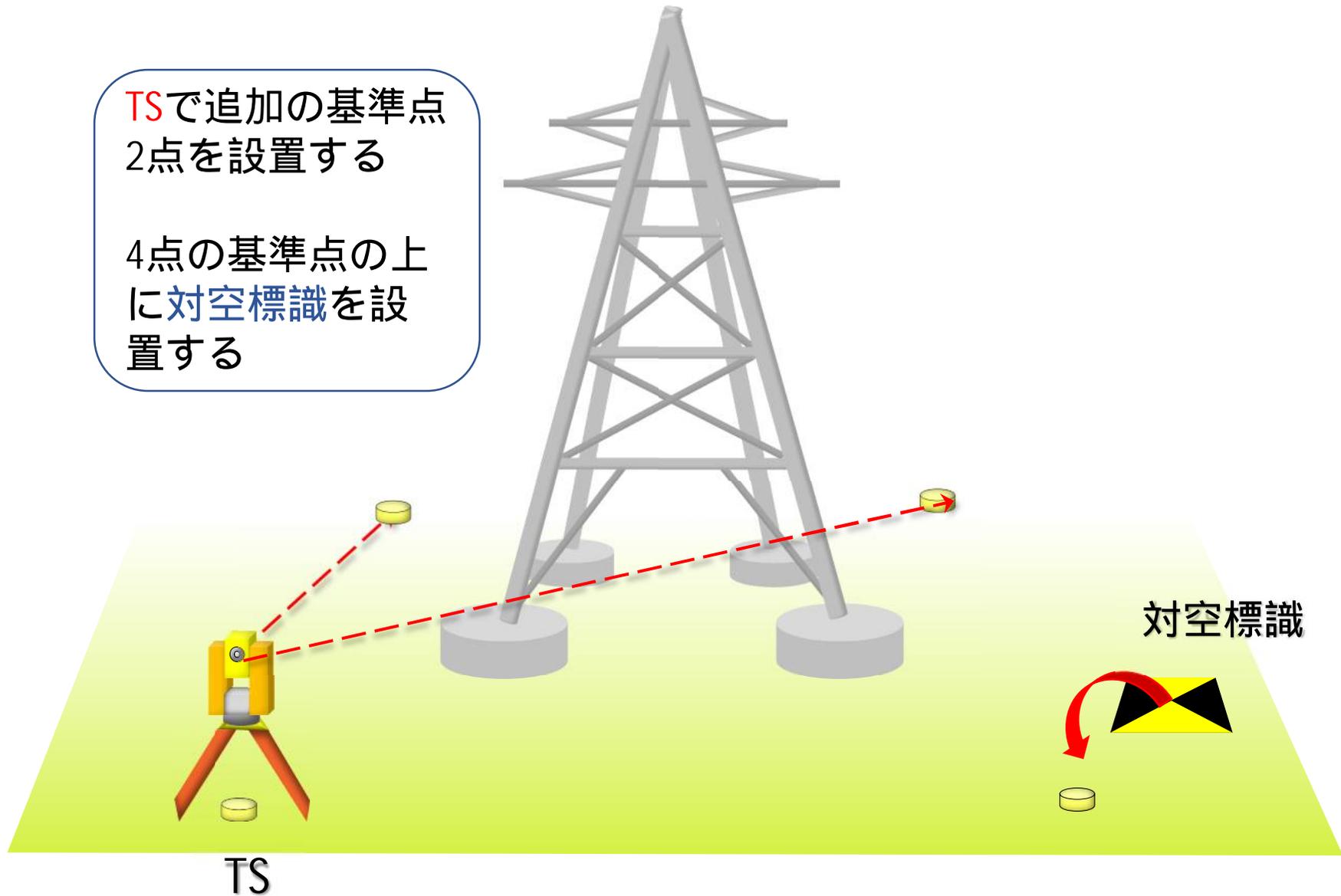
TSで2点夾角の観測
を行い、障害物の
座標値を点検する



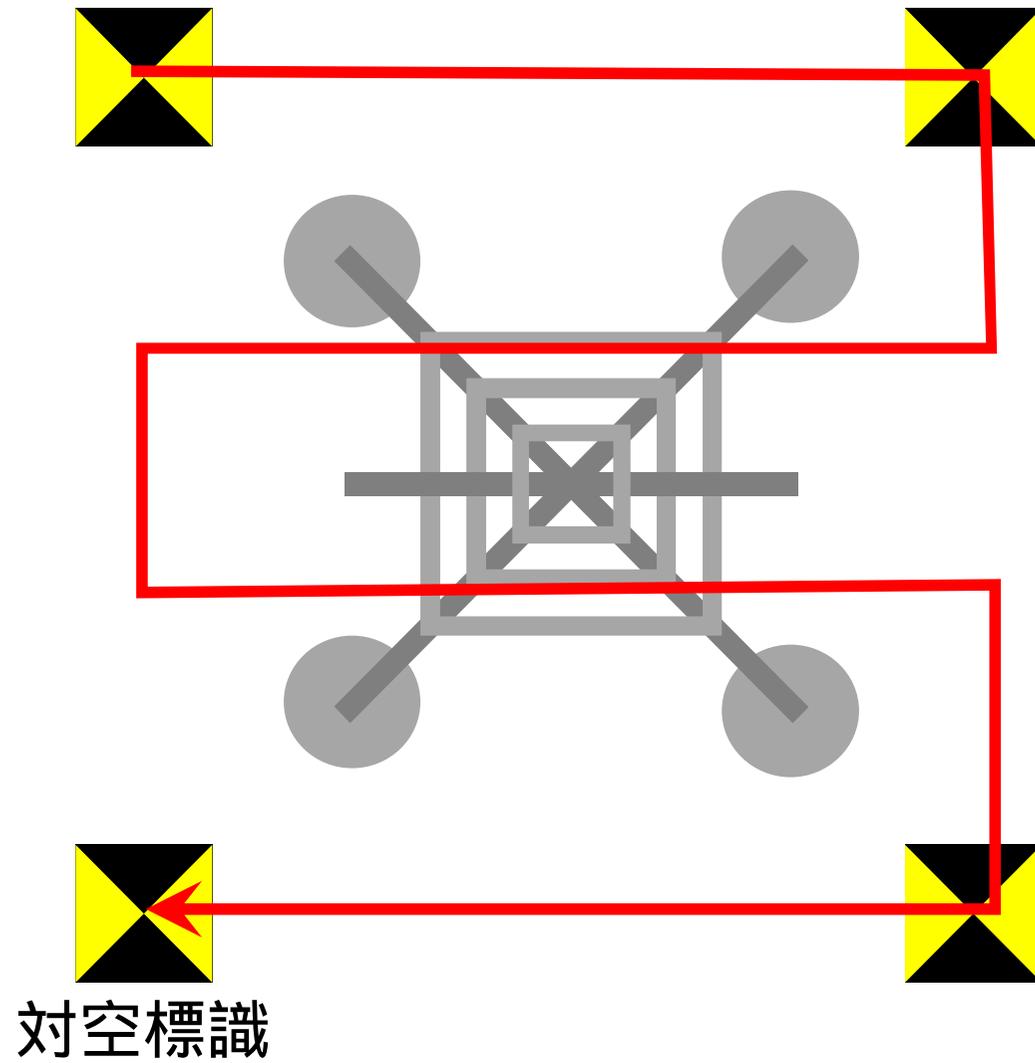
3. TSによる基準点の設置

TSで追加の基準点
2点を設置する

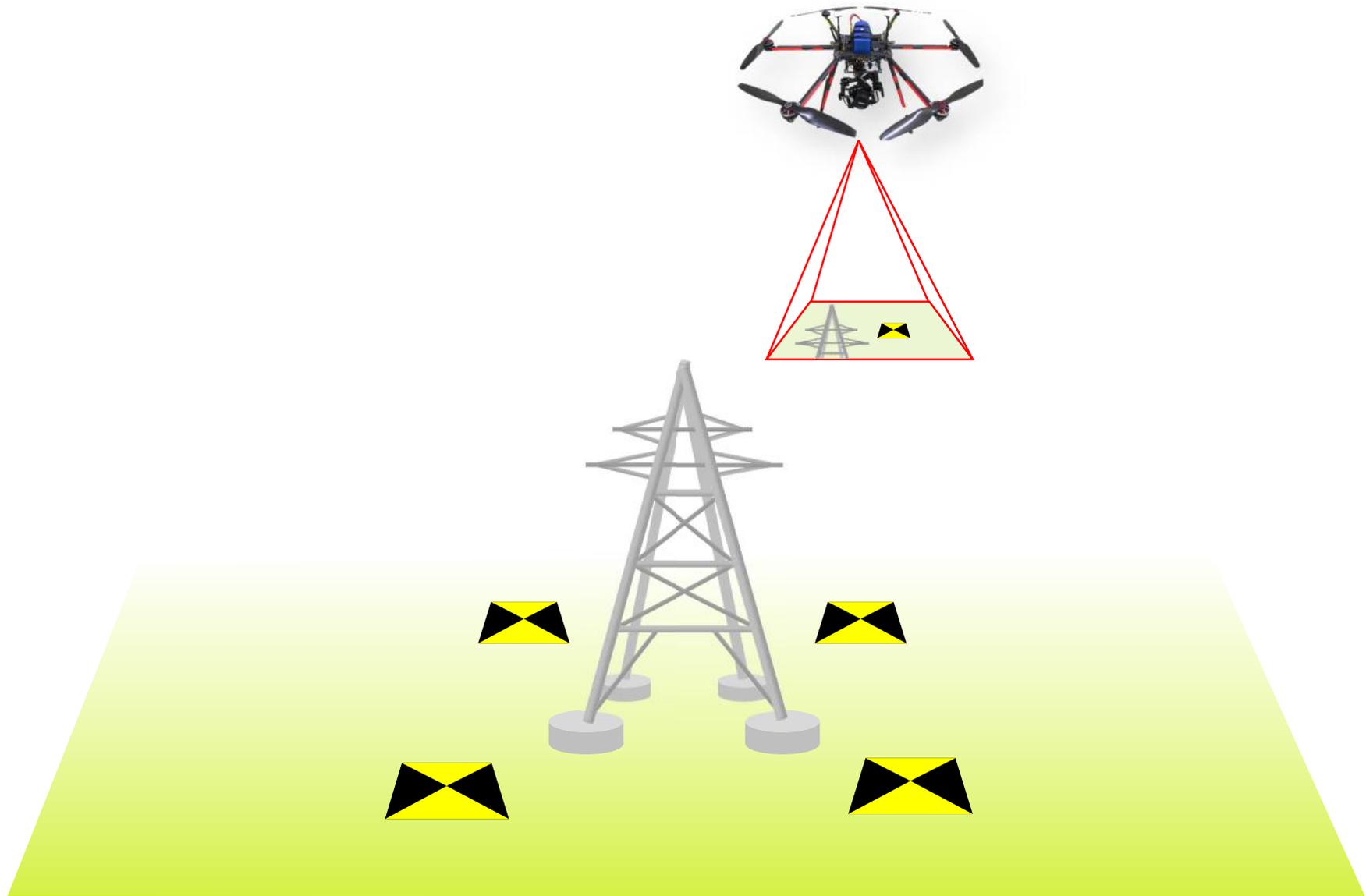
4点の基準点の上
に対空標識を設
置する



4. UAVの飛行ルート



5. UAVによる空中写真の撮影



実施（2018年11月）

- 22日 午前に空港スタッフ(CAAP)、RASA測量会社（TS測量と一部のGNSS測量担当）と顔合わせ。測量内容とそれぞれの分担およびスケジュールの確認。
- 午後に基準点の確認と標定点の位置決めと対空標識設置。
- 23日 基準点でGNSS測量開始、Block IのC-1, C-2, C-3でUAV測量。滑走路の東側に新たに2測線(C-4とC-5)を追加することにした。標定点でのGNSS測量を夜間に実施。
- 24日 Block IIとBlock IIIのUAV測量を実施。
- 25日 日曜日で休暇。基準点のGNSS電池交換のみ実施。
- 26日 Block IのC-4とC-5のUAV測量。TSによる基準点と滑走路マークとの結合。UAV空撮のデータを日本に送り、日本でターミナルビル付近のオルソ画像作成。ターミナルビル横のタワーでUAV障害物測量およびTS測量。
- 27日 ターミナルビル横のタワーでUAV障害物測量再測。翌日の会合のための速報作成。
- 28日 作成した速報をもとに、空港スタッフ(CAAP)と実施した測量内容の確認と今後の作業の打ち合わせ。

11月22日（初日）午前(1)



実施内容、分担とスケジュールの確認のミーティング



11月22日（初日）午前(2)



管制塔から
空港全体を概観

11月22日（初日）午後



測定コース
予定図をも
とに標定点
を決定、航
空標識設置



11月23日（朝）

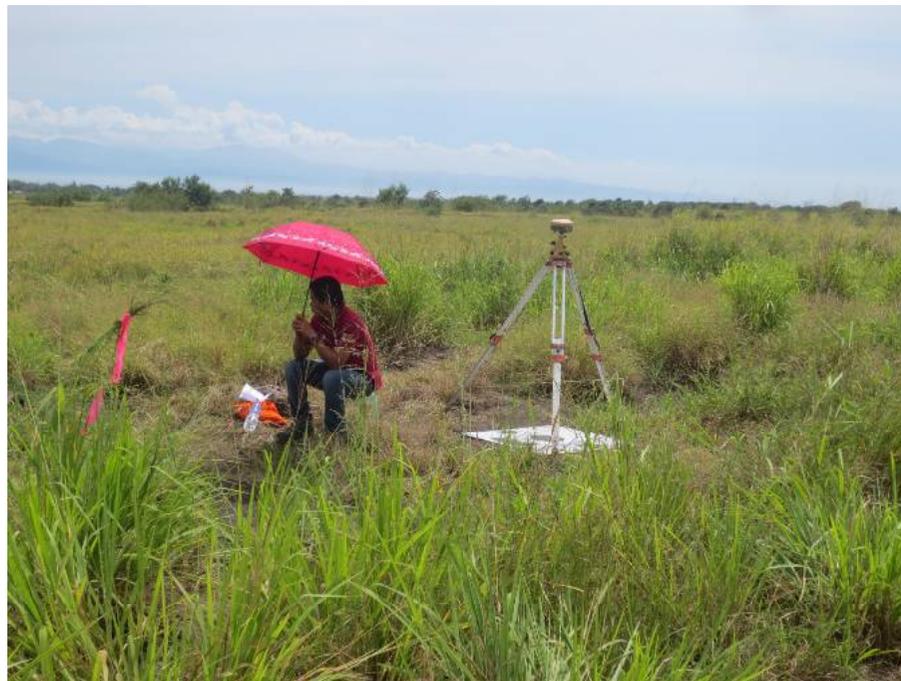
2002年に米国NIMA (National Imagery and Mapping Agency) が作成したBMを基準点とし、連続GNSS観測開始



11月23日からUAV(ドローン)空撮開始



標定点でGNSS測定開始（RASA）



滑走路横等の測定は飛行機の離着陸によりたびたび中断されるので、離発着のない夜の実施に変更。

定期便以外にも飛行機の離発着があるので、空港でのUAV測量に慣れるまでは時間の調整に苦労した



VOR(超短波全方向式無線標識施設)などの電波施設
の上空では難しかった



基準点と標定点や空港標識との位置関係をTSで測量



ターミナルビル 横の2本の鉄塔 で障害物調査



現地最終日
の速報で示
したオルソ
画像



最終日のミーティングの後空港関係者と日豊スタッフとの記念写真



1月に報告書
を提出
そのときの
オルソ画像

GPSの座標とオ
ルソ画像の座標
の差のRMSは
0.028mであった。



今回実施したUAV航空測量

- 飛行の高さ143m、飛行速度約20km/h、写真シャッター間隔5秒
- 1測量（3.6km）約15分（準備3分、飛行12分）
- 安価、少人数で手軽にできる。
- ただし電波に弱い。VORのような強い電波を出す装置の上空はむずかしい。
- 離発着の多い空港でも、障害物測量に使える。ただし、細いタワー等の小さな標的は、トータルステーション等が必要。

基準点のGNSS解析結果



解析に使用した I G S 点

		緯度(dmmss)	経度(dddmmss)	楕円体高	測量年月
PMR3	Nippo	60416.9410	1250546.9518	220.403	2018/11
	NIMA	60416.9458	1250546.9618	220.485	2002/4
	Nippo - NIMA	-0.148m	-0.306m	-0.082m	
PMR1	Nippo	60237.9424	1250559.0392	208.602	2018/11
	NIMA	60237.9480	1250559.0489	208.687	2002/4
	Nippo - NIMA	-0.176m	-0.299m	-0.085m	

今回の測量で求めた2002年NIMA測量以降16.5年間の変動



(参考) スンダプレートを基準としたときの変動(1年あたり)

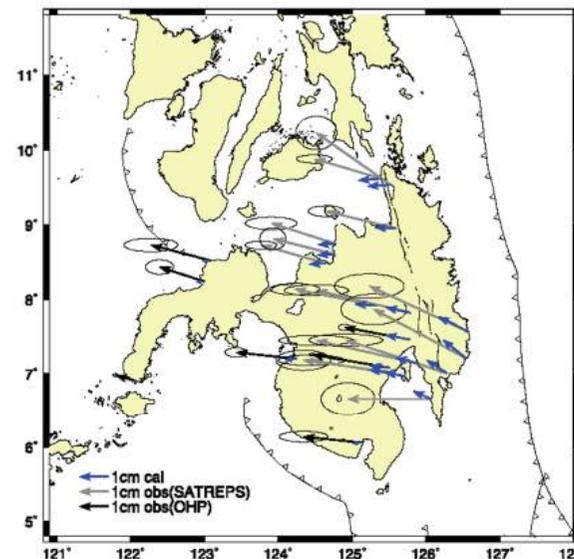
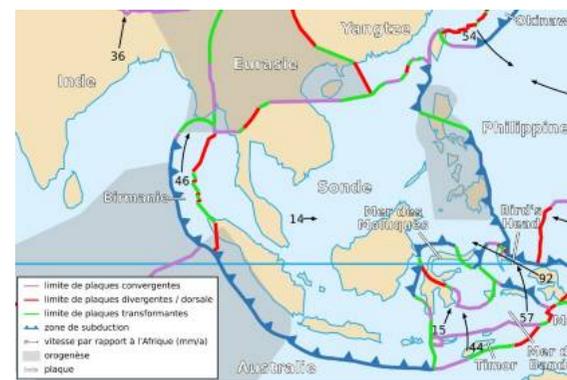


Fig. 4. Velocity vectors with respect to the Sunda plate. Open arrows denote calculated velocities assuming 100% of plate coupling along the upper surface of the subducting Philippine Sea Plate down to a depth of 80 km. Blue and red arrows are velocities observed by the Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program (SATREPS) and Ocean Hemisphere Project (OHP) campaigns, respectively. Error ellipse of 3-sigma are also shown for the observed velocities.

Ohkura et al.(2015), J. Disaster Research



まとめ

- フィリピンのジェネラルサントス空港でUAV(ドローン)を使った写真測量を行った。
- UAV(ドローン)を使った空港での写真測量は、世界的にもまだあまり例がないだろう。
- 今回の測量により、有人の航空機を使った場合に比べ、はるかに安価、短時間、かつ少人数で実施できることが実証された。
- ただ、飛行機が頻繁に離発着する空港ではUAV(ドローン)を飛ばすのが難しいだろう。
- 人口密集地でも、許可を得れば飛ばすことができるので、離発着の多い空港でも障害物測量に使える。
- 基準点の座標値を16年前のNIMAの値と比べると約35cmの変動があった。この量は他の地殻変動の研究結果と調和的である。