

平成29年6月7日
第46回国土地理院報告会

国土地理院における 基本図測量でのUAVの活用

基本図情報部 地図情報技術開発室長
中村 孝之

1.  国土地理院ランドバードの取組状況
2. 基本図測量でのUAVの活用
3. 今後の課題

1.  国土地理院ランドバードの取組状況
2. 基本図測量でのUAVの活用
3. 今後の課題

- 無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle 通称ドローン)
- 空撮、災害調査、施設点検、農業など、様々な分野で活用。
- 公共測量など測量分野でも活用され始めている。

○回転翼型(マルチコプター型)

- ・小回りが利く
- ・対象物に近づき、
詳細な調査が可能



○固定翼型

- ・航続距離が長い
- ・広範囲を撮影可能



➤ 改正航空法の施行(平成27年12月10日)

: 無人航空機の飛行ルールを導入



➤ 小型無人機等飛行禁止法※の施行(平成28年4月7日)

: 重要な施設等とその周辺地域の上空の飛行禁止



※正式名称:「国会議事堂、内閣総理大臣官邸その他の国の重要な施設等、外国公館等及び原子力事業所の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律」

➤ 国土交通省は、UAVによる測量を含むICTを活用した建設現場の生産性向上を図る「i-Construction」を推進

➤ 安倍総理は、未来投資会議(平成28年9月12日)で「ドローン等による建設現場の生産性革命」について発言



<http://www.kantei.go.jp/jp/>

➤ 国土地理院は、以下を公表(平成28年3月30日。①は平成29年3月31日改正)

<http://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/>

①「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」

: UAVを用いて撮影した空中写真を用いて測量を行う場合の精度確保のための基準や作業手順等を規定

: i-Constructionに係る工事測量にも活用可能

②「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)」

: 作業機関がUAVを用いた測量作業を安全かつ円滑に実施できるよう遵守すべきルール等を規定

- UAVによる空中写真を用いた、数値地形図や3次元点群の作成方法を規定 (i-Constructionの15基準類の1つとして、平成28年3月公表)
- 作業の効率化、明確化、精度向上のため、マニュアルを改正(平成29年3月)

■ 主に、以下のような点を改定(3次元点群作成関係)

- ① 使用する写真の重複度(ラップ率)を緩和
 - 実際の重複度を確認できる場合には、**90%(従来)を80%(改正後)に改善**
 - 必要な写真の枚数を、**1/2**に大幅削減可能 (撮影や処理の時間短縮など生産性が向上)
- ② 標定点や検証点の測量作業方法を明確化
 - 一定の条件下では、**GNSSローバーの使用も可能に** (作業の効率化)
- ③ 標定点や検証点の配置方法を見直し
 - 精度を維持・向上させながら、より効率的な作業ができるように見直し

その他、各種規定の明確化、条件緩和を行うとともに、実際の利用状況を踏まえて、表現・内容・様式等を見直し。

さらに、これに加えて



1年間の運用の中で得られた知見、頂いた質問等を踏まえ、マニュアルの**利用に当たっての手引き**を作成・公表(作業を行う際の基本的な考え方、FAQ等を記載)



UAVの活用のための国土地理院内の横断的組織(平成28年3月発足)

緊急撮影にも対応できる高度な技術

安全管理

操縦技術

精度管理

本院(つくば市)のみでなく
全国の地方測量部等に順次展開

平常時：技術力の確保と向上

i-Constructionへの対応
公共測量への助言

災害時：緊急撮影と情報提供

災害現場の動画や静止画の撮影
関係機関への提供や一般への公開



<https://www.pref.ibaraki.jp/>



平成27年9月関東・東北豪雨の被災箇所の撮影

- 平成27年9月10日、鬼怒川破堤箇所(茨城県常総市)を破堤から4時間後(日没直前)に撮影。災害時の直営撮影の最初の事例。
 - 破堤箇所の対岸から救助ヘリを避けるため水面上を低空(高度10m)で飛行させて撮影。
 - 映像は当日関係機関に配布し、国土地理院のページからも公開。
- ⇒試験研究から組織的活動(GSI-LB)へ



派遣月日	災害名	撮影地	派遣人数
(平成28年3月16日国土地理院ランドバード発足)			
4月15日～18日	熊本地震	熊本県南阿蘇村、益城町	本院(つくば市)3名、九州地測1名
5月11日～13日	熊本地震	熊本城	本院5名
8月21日～23日	台風第11号及び第9号	北海道砂川市	本院3名、北海道地測2名
8月29日～9月1日	台風第10号	岩手県岩泉町	本院3名、東北地測1名
10月21日～23日	鳥取県中部の地震	鳥取県倉吉市、三朝町	本院3名、近畿地測1名

平成28年熊本地震の被災箇所の撮影

4月16日から18日まで、土砂災害現場や地表地震断層等を撮影。



阿蘇大橋周辺(南阿蘇村立野)の土砂災害(4月16日撮影)



山王谷川(南阿蘇村大字長野)の土砂災害(4月17日撮影)



南阿蘇村河陽周辺の地表地震断層(4月18日撮影)



益城町下陳周辺の地表地震断層(4月16日撮影)

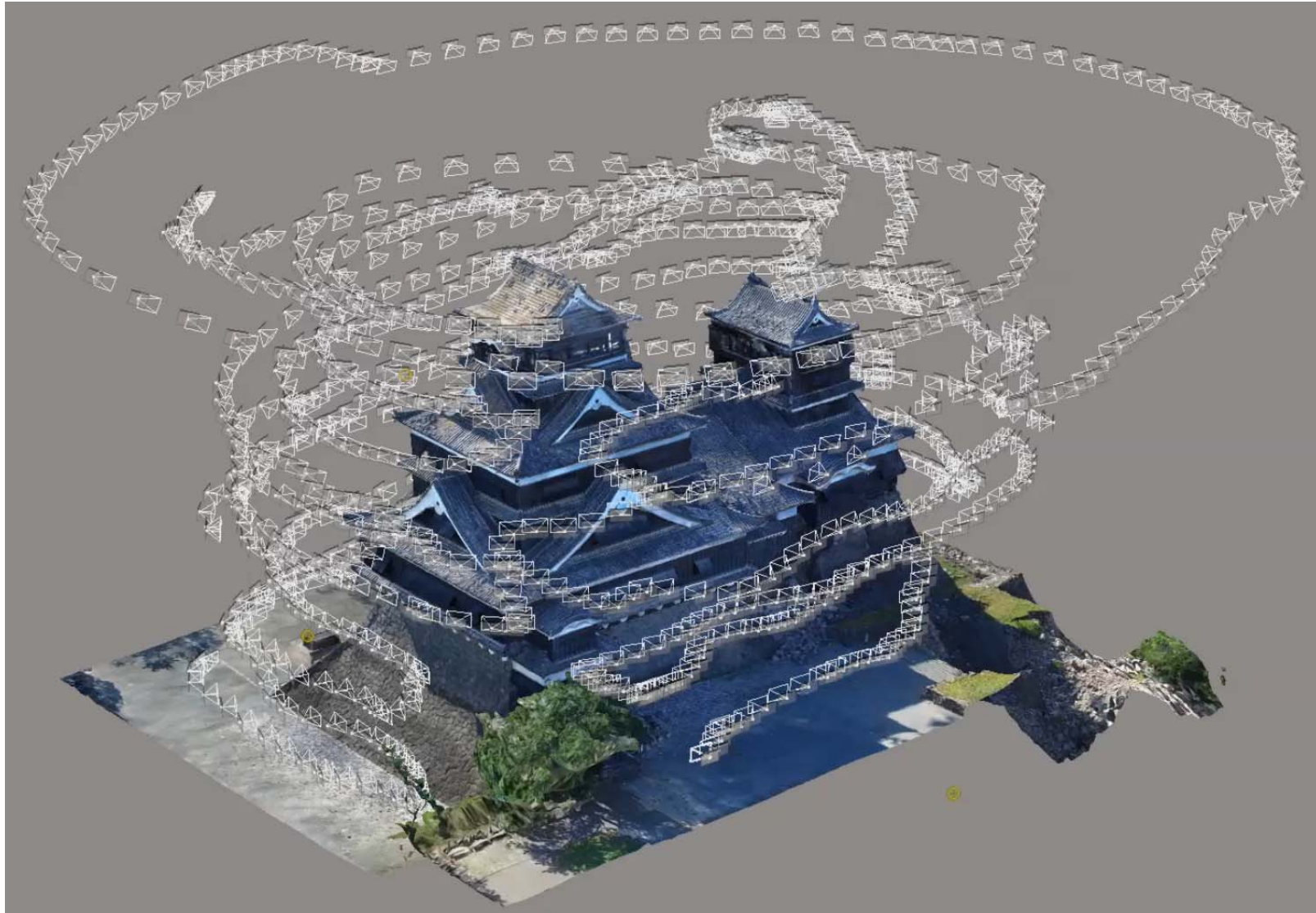
熊本城の撮影

- 熊本市の要請に基づき、5月11日～13日まで熊本城の石垣等の被災箇所を撮影。
- 調査結果は熊本城の応急対策、復旧計画の基礎資料として活用されている。



熊本城の3Dモデル

UAVで撮影した動画から切り出した連続する画像を使用して作成



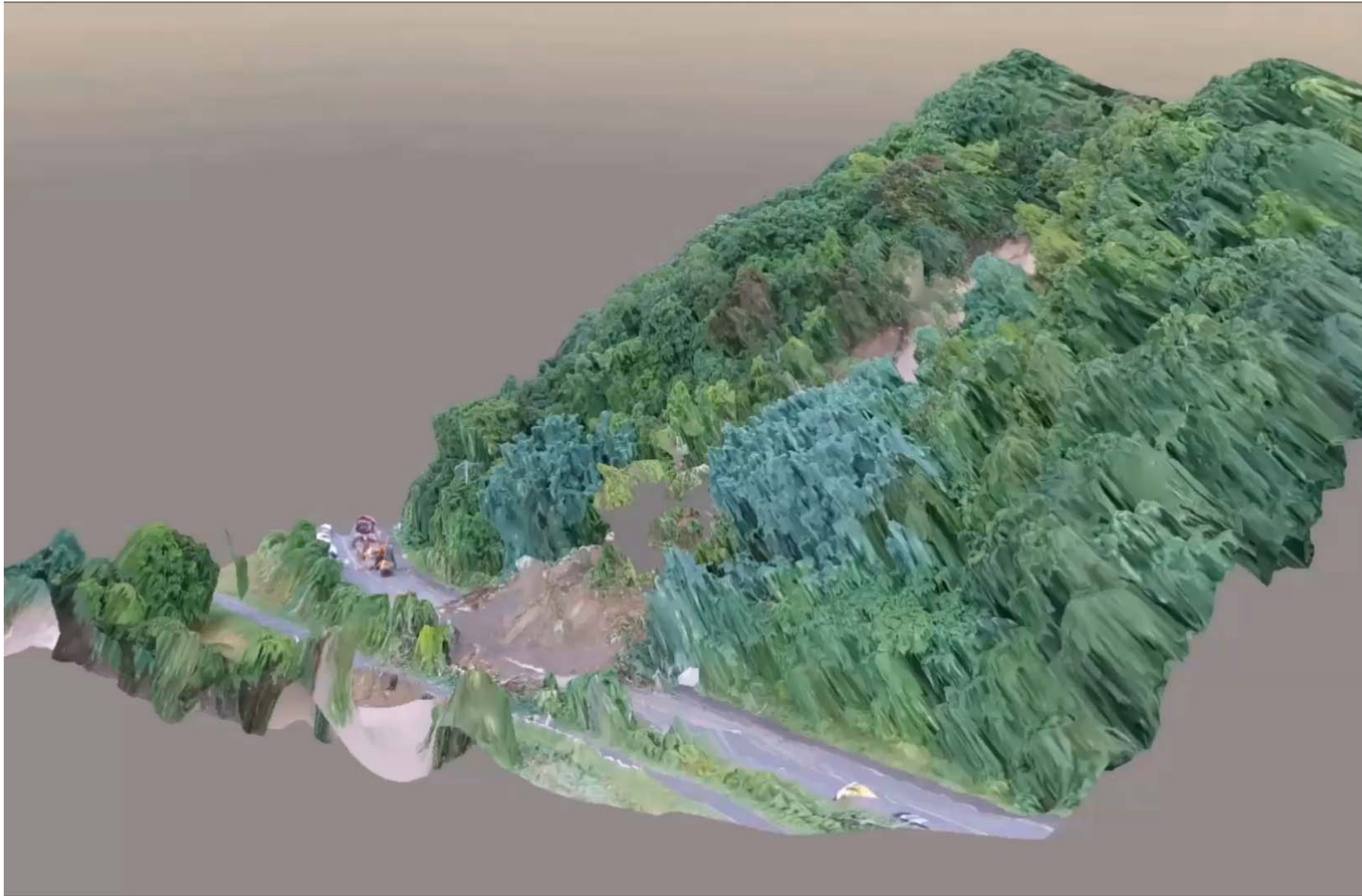
平成28年台風第11号及び第9号の被災箇所の撮影ⁱ 国土地理院

北海道砂川市焼山の土砂災害箇所(平成28年8月22日撮影)

- 降雨が止んだ僅かな時間に撮影を実施
- 地上からは確認困難な崩壊上部の詳細な状況把握が可能



北海道砂川市焼山の土砂災害箇所の3Dモデル



平成28年台風第10号の被災箇所の撮影

岩手県岩泉町褓野周辺の集落（平成28年8月31日撮影）



- 小本川が氾濫し孤立した集落を撮影（対岸からUAVを離着陸）



孤立集落

道路が水没

UAV
離着陸

航空機で撮影した斜め写真

平成28年鳥取県中部の地震の被災箇所の撮影

- 現地で被害箇所を確認し、2カ所を撮影(平成28年10月22日)
- いずれも道路の通行が規制されている箇所



鳥取県倉吉市大原の落石箇所



鳥取県東伯郡三朝町三朝の道路亀裂箇所

災害発生

派遣決定(国土地理院災害対策本部会議)

最寄りの拠点まで移動(公共交通機関、車)

災害現場へ移動(車)

UAV飛行準備

UAV飛行・撮影

データ伝送(携帯電話回線等)



チーム編成：以下の構成により、最低3名以上で飛行を実施

安全飛行管理者	： 1名（現地の安全管理の責任者）
操縦者	： 1名
補助者	： 1名以上（離着陸の補助や見張り）



使用する機体：これまでの実績では、DJI Phantom3又はPhantom4

- ・航空機の手荷物として機内持ち込み可
- ・4K動画及び静止画(約1200万画素)の撮影が可能
- ・防水ではないため、降雨時の飛行は不可能



離陸重量 約1.4kg
飛行時間 約15分



周辺機材

ヘル
メット

UAV2台
(含 予備1台)

(主な確認事項)

周辺の立木、上空視界の確認

周辺の第三者物件の確認

風速・風向など気象状況の確認

機材に異常が無いか

周辺の電磁波の確認



第三者の立ち入りが無いか

航空機・ヘリ・UAVの接近が無いか

身の安全の確保

※飛行前のみならず、飛行中も随時確認を行う

離陸～撮影～着陸まで

飛行前に安全な飛行が可能かどうかを現場で判断、
障害物(特に立木)の高さ等を確認。
ヘリの動きも念入りに確認。



第三者の立ち入りが予測される場所に
無線機を持った監視員を配置



いざというときは、
緩衝地帯内に墜落させる



飛行中の機体は操縦者以外
のメンバが常時目視で監視
操縦はマニュアルで実施



災害現場の離着陸は、ハンド
リリース・ハンドキャッチを原則
(フェイスガード付きヘルメット、
耐切創手袋着用)

- 災害調査時は臨機応変な飛行が必要



飛び交うヘリを避けながら飛行



障害物を避けながら飛行

- 機器トラブルや鳥の襲撃等では手動操縦での事故回避が必要

安全運用のためには高度な操縦スキルが必要

安全基準(内規)の整備

- 国土地理院独自の内規として、UAV運用マニュアル(案)を作成
- 運用しながら、必要に応じて改訂

(規定の例)

- 飛行範囲＋緩衝地帯を設け、関係者以外立ち入らない
- 関係者はヘルメット着用
- 操縦者の操縦への専念義務、補助者による周辺監視
- 飛行前点検と飛行後の確認の徹底(チェックリスト)
- 運用の制限
 - 平均風速5m/sを超える場合は飛ばさない
(※強風訓練時のみ、平均8m/s程度まで飛行させる)
- 安全飛行管理者・操縦者(A級、B級)ライセンスの設定
 - 検定内容を定め、操縦技能の試験を実施
 - ライセンスによって飛行の場所や方法が規定

- 操縦ライセンス取得に向けて、段階的に訓練を実施
- 座学により安全基準の内容を理解

操縦技能の習得

◆訓練（第一段階） 重量200g以下の機体やシミュレータを用いた屋内訓練



フライトシミュレータで練習



技能検定合格



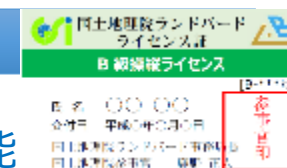
講堂等で練習
座学の受講



初期練習用マルチコプタ
(機体は約50g)

B級操縦ライセンス取得

- 重量200g以上2kg未満の機体の操縦が可能
- 航空法の許可・承認の必要がない空域・飛行の方法による屋外での飛行が可能



◆訓練（第二段階） B級操縦ライセンスが対象とする機体を用いた屋外訓練



国土地理院グラウンドで練習



国土地理院外で練習



練習に使用する機体

屋外での10時間以上の飛行経験 及び 強風下や練習場以外での飛行経験

技能検定合格

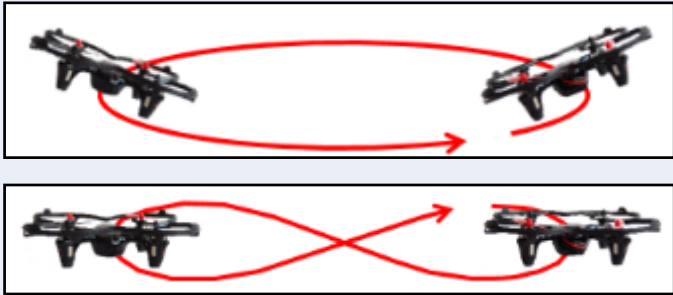
座学の受講

A級操縦ライセンス取得

- 重量200g以上25kg未満の機体の操縦が可能
- 航空法の許可・承認が必要な空域・飛行の方法における屋外での飛行（許可・承認を得る必要有り）や、災害時の捜索又は救助のための飛行が可能



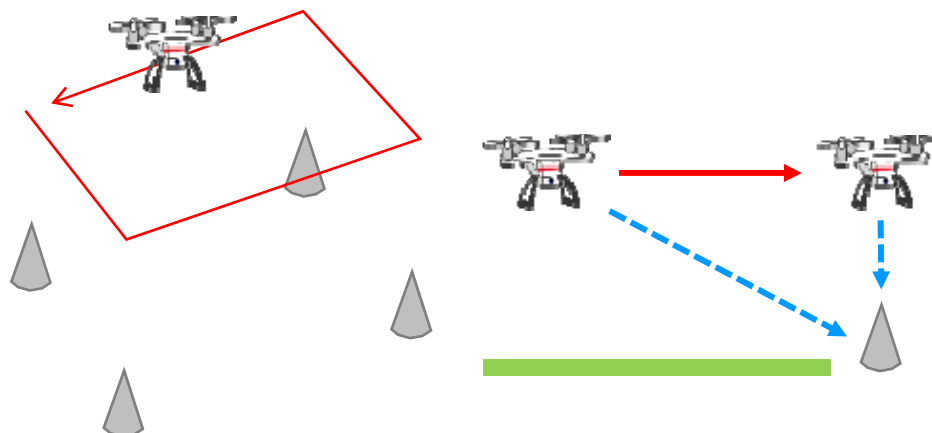
A級取得後に操縦
できる機体

	B級操縦ライセンス	A級操縦ライセンス
目的	基本的な操縦スキルを身につけること	想定できない状態でも、冷静に対応できるようにすること
使用する機器	玩具のマルチコプター	DJI Phantom
気象条件	無風(屋内)	5m/s以上の強風時にも訓練
主な検定項目	- 一定距離の位置まで安定して上昇 - 正面・対面・横向きでの安定したホバリング - 旋回及び8の字飛行 - 直径1mの円内に安定して降下し、着陸 	GNSSを使わない操縦モードで、 - 一定距離の位置まで安定して上昇 <u>強風下において</u>、正面・対面・横向きでホバリング - 旋回及び8の字飛行 - 直径1mの円内に安定して降下し、着陸 - FPV機能で、ある目標物を画面中心に据えたまま、目標物からの距離を維持しながら周囲を回るように飛行 等

災害現場での撮影を想定し、FPV機能で以下を実施（無風下）

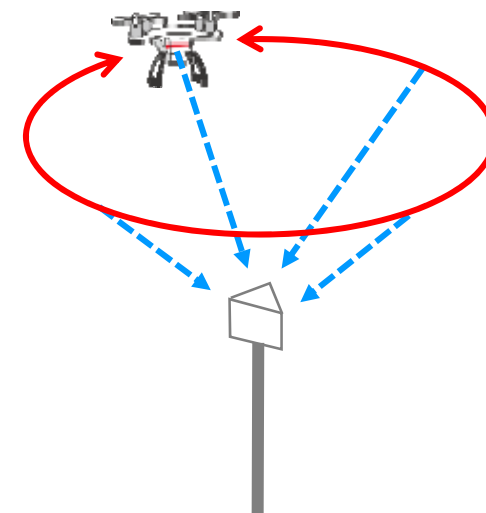
● 目標間移動

- 複数の目標物の上空をつないで飛行（目標物の真上まで移動→停止→向き変え→次の目標物の真上まで移動）
- 目標物が常にFPV画面の中央となるようにカメラの角度を調整しながら飛行



● ノーズインサークル（グルグル）

- 約45度斜め下にある目標物をFPV画面の中央に据えたまま、目標物からの距離を維持しながら周囲を回るように飛行

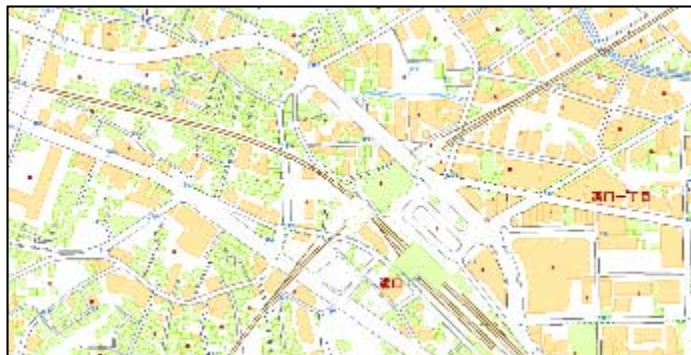


1. 国土地理院ランドバードの取組状況
2. 基本図測量でのUAVの活用
3. 今後の課題

電子国土基本図とは

- 従来の紙の地形図に代わる**新たな国の基本図**として整備
- 領土の明示、国土管理、防災対策などを行う上で重要な情報
- 地理空間情報活用推進基本法(平成19年法律第63号)に基づき位置の基準として整備される道路、建物などの「**基盤地図情報**」項目と、**植生や地形、地名**などの項目を統合し、**一体的に整備・更新**
- 都市計画区域は縮尺レベル2500、都市計画区域外は縮尺レベル25000で整備

基盤地図情報(位置の基準)



統合

その他国土管理等に必要な情報



電子国土基本図

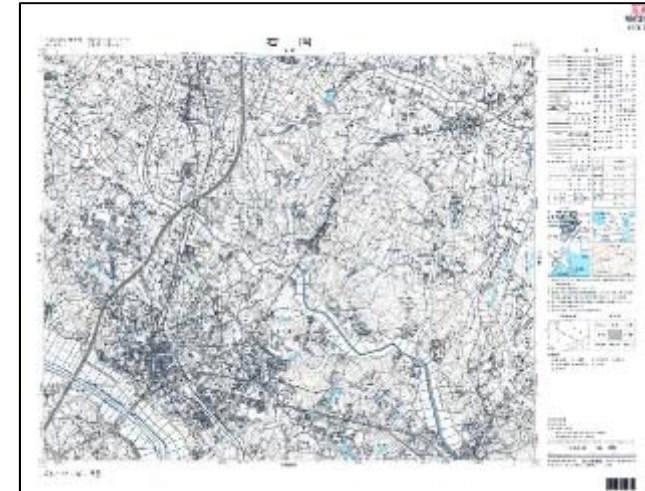
電子国土基本図の提供

ニーズに合わせた多様な形態で提供

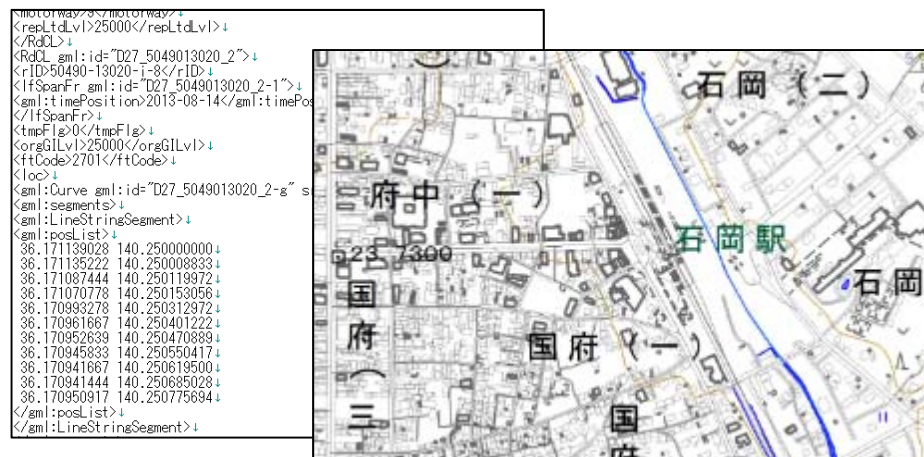
⇒国土管理・開発・保全、地域政策、防災・災害対応、地理教育、レジャーなど様々な活用



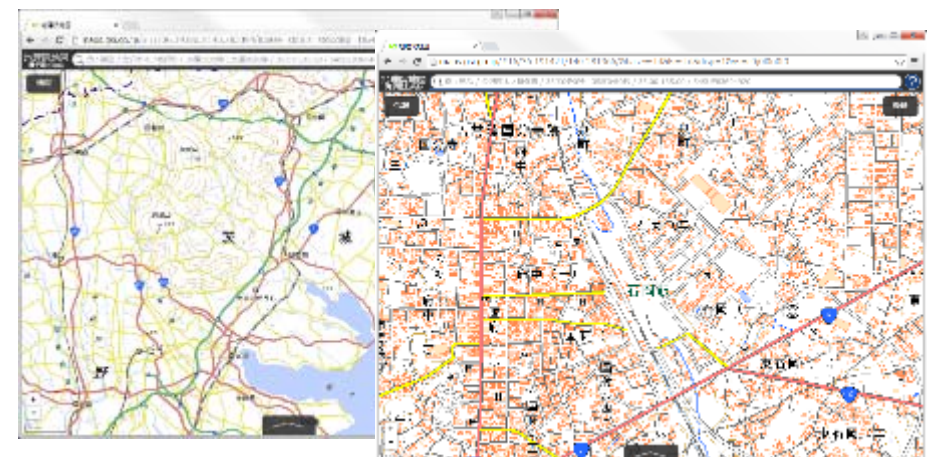
電子地形図25000:オンデマンド地図画像



2万5千分1地形図:印刷図

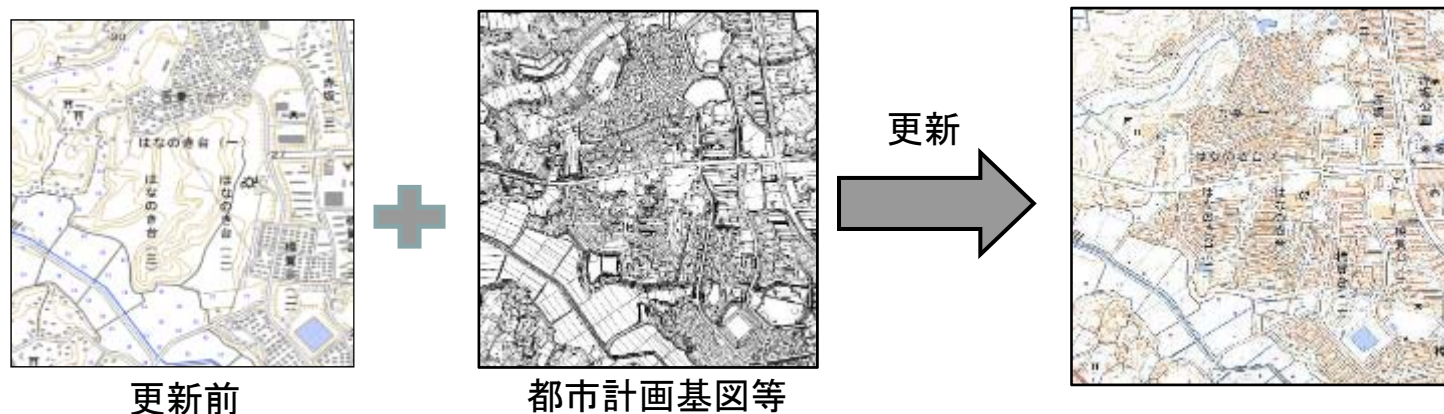


数値地図(国土基本情報):ベクトルデータ



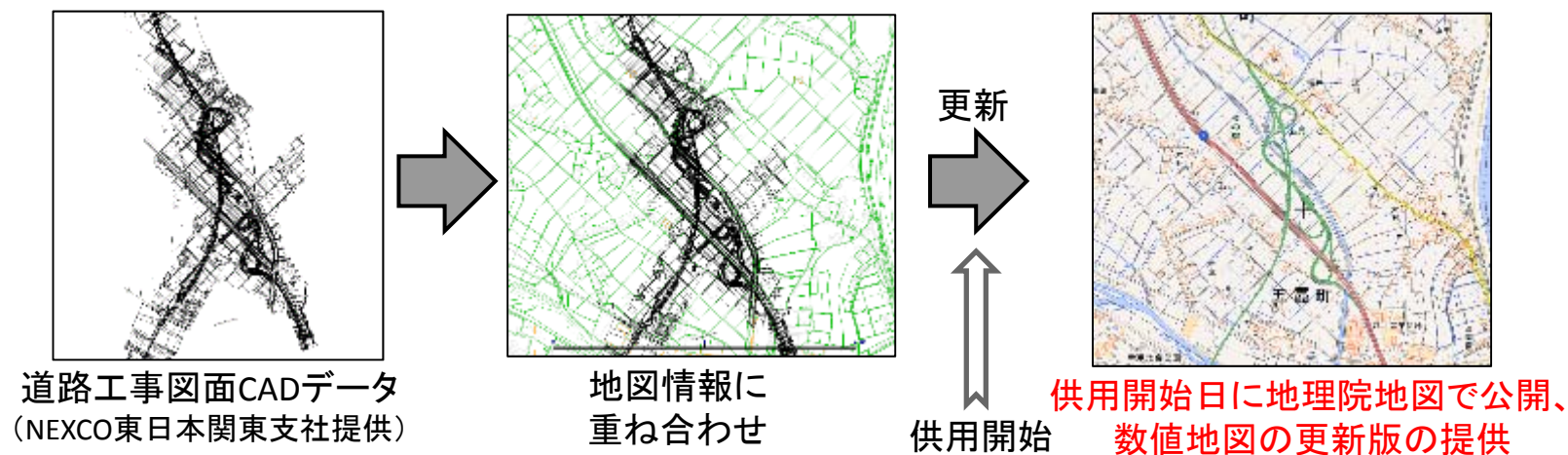
「地理院地図」 <http://maps.gsi.go.jp/> 28

1. 面的更新 都市計画基本図や空中写真から地域全体を面的に更新



2. 迅速更新 道路等の主要な項目を迅速に更新

例：圏央道五霞IC(平成27年3月29日供用)



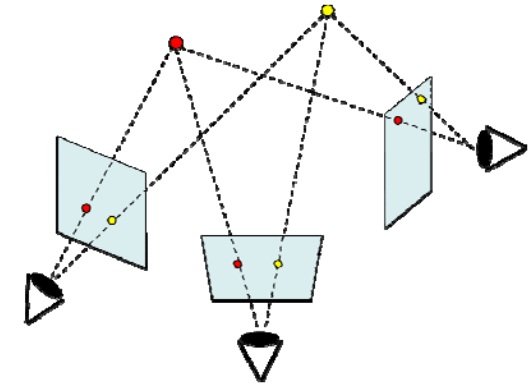
- データ更新は様々な手段を用いている。
 - ・施設管理者の図面 : 道路等の迅速更新
 - ・都市計画基本図 : 面的更新
 - ・空中写真 : 面的更新
 - ・人工衛星画像 : 空中写真の撮影が困難な離島等
 - ・MMS(車載写真レーザシステム): 道路の迅速更新

- UAVが活用できれば、
 - ・迅速なデータ更新
 - ・平常時にもUAVを活用することで、操縦技能や安全管理能力が向上し、災害時の円滑な運用に資する

⇒電子国土基本図更新へのUAVの活用可能性を検証

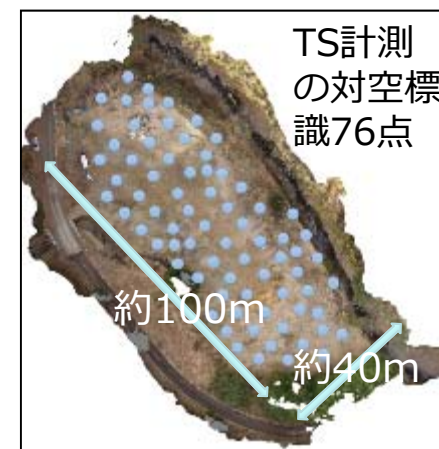
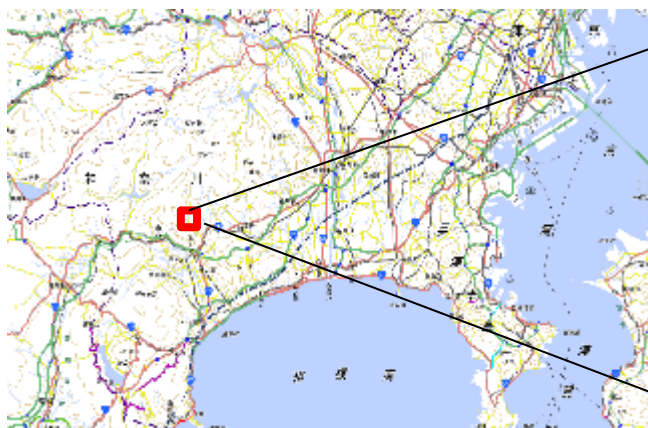
➤ 大量に撮影された写真から特徴点を抽出し、撮影時のカメラの位置・向きを推定し、撮影対象の3次元形状を復元する技術

1. 画像から 特徴点 を自動抽出 (SfM)
2. カメラの内部標定要素・外部標定要素と特徴点の三次元座標を一度に調整計算 (SfM)
3. 画素同士の対応関係から三次元モデルを作成 (MVS)



- これまで、UAVに搭載した一眼レフカメラによる空中写真の精度検証を実施
- 災害時は、カメラとUAVが一体化した小型UAVを活用。
各地方測量部等にも今後配備予定
- 地方測量部等の定常業務での活用を想定し、小型UAVによる空中写真が電子国土基本図の更新に活用できるか検証
- 撮影の重複率（オーバーラップ、サイドラップ）、SfMソフトウェアなどの条件を変えて精度検証

検証場所 日本写真測量学会 UAVテストサイト（神奈川県足柄上郡松田町）

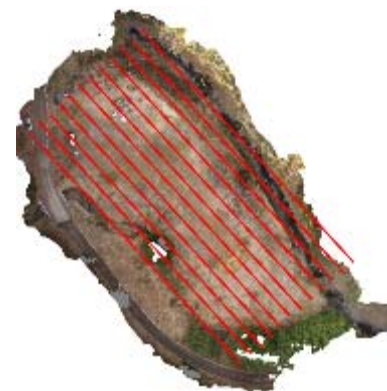


使用UAV DJI社 Phantom3 Professional

地上画素寸法 1 cm = 対地高度 約 23 m

重複率 オーバーラップ90%、サイドラップ90%

撮影枚数 403枚



撮影コース



検証 (OL,SL)=(90,80), (90,60), (80,80), (80,60),(70,60), (60,60), (60,30)
7通りの重複率（写真の間引き方を変えたもの）について、
ソフトウェア3種類（Photoscan, ContextCapture, Pix4DMapper）で比較検証

テストサイトの4隅及び中央の5点で標定、4隅の内側の48点を検証点
 検証点における精度（RMSE） 単位：m

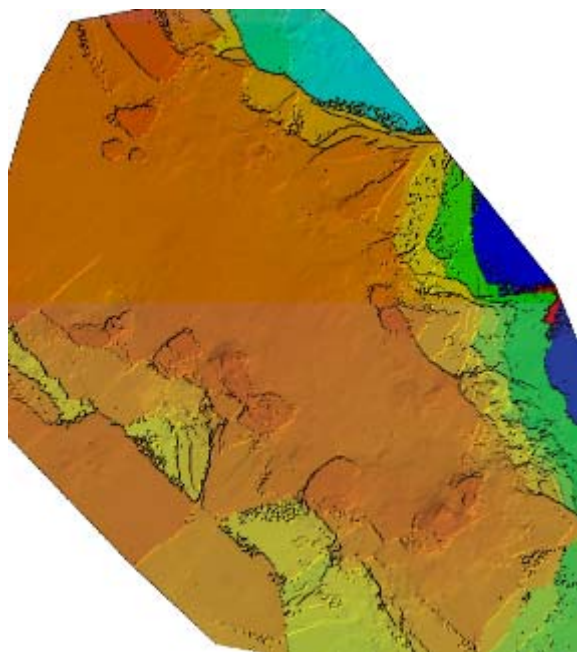
SfMソフト	OL SL	90% 80%	90% 60%	80% 80%	80% 60%	70% 60%	60% 60%	60% 30%
PhotoScan	水平	0.018	0.027	0.019	0.037	0.028	0.026	0.027
	高さ	0.073	0.055	0.057	0.055	0.048	0.043	0.044
ContextCapture	水平	0.032	0.037	0.041	0.030	0.029	0.027	0.021
	高さ	0.051	0.079	0.073	0.056	0.056	0.044	0.066
Pix4Dmapper	水平	0.023	0.025	0.023	0.027	0.028	0.027	0.019
	高さ	0.050	0.048	0.044	0.057	0.054	0.055	0.046

どの重複率でもどのソフトでも水平 2 ～ 4 cm、高さ 4 ～ 8 cmの精度

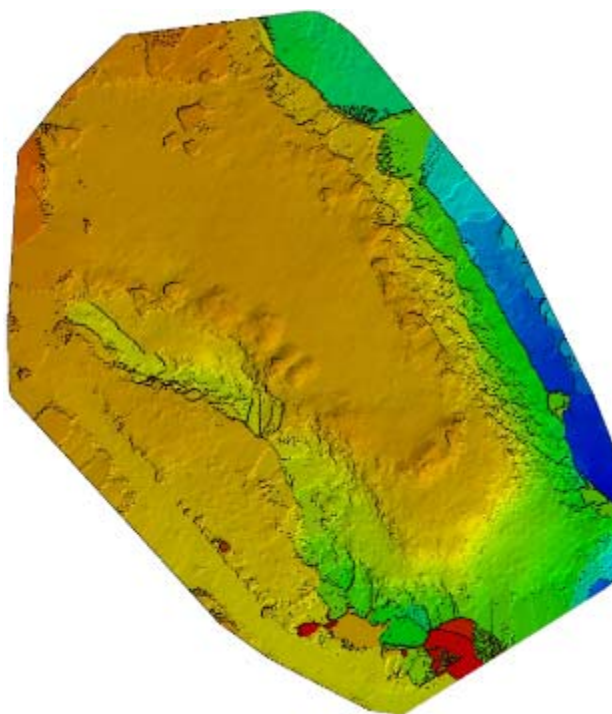
→ 重複率は精度に影響しないのか？ 地形の再現性の違いは？

DSMを陰影段彩図にして比較

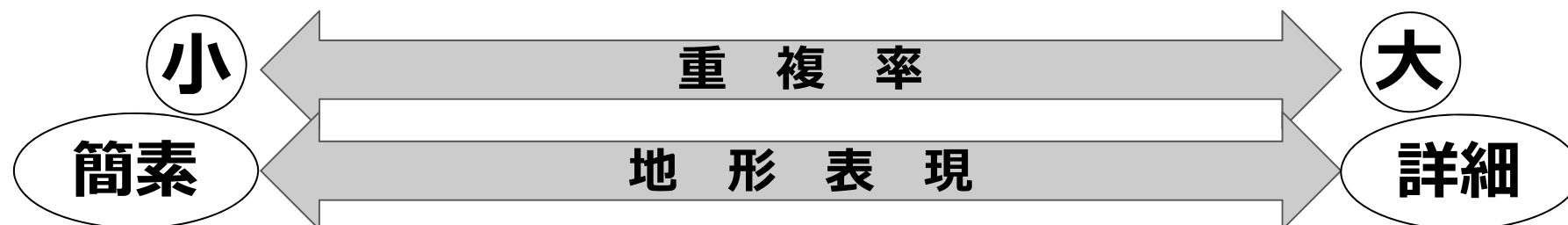
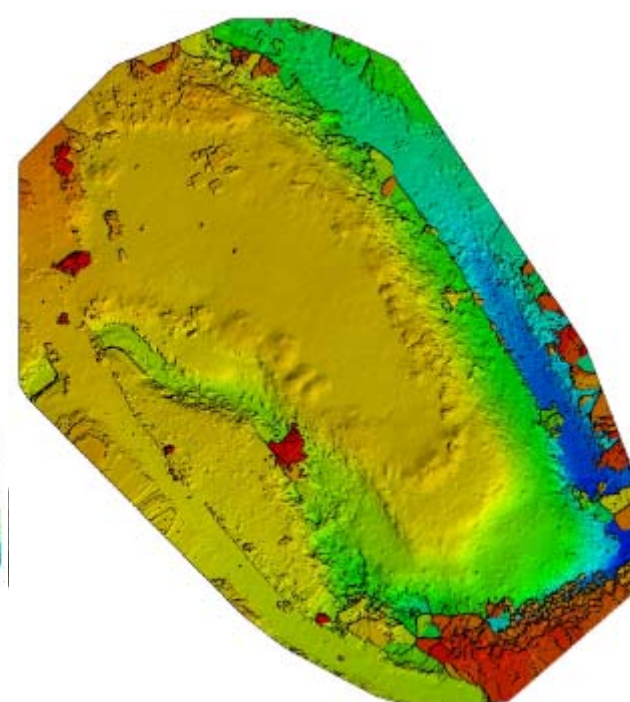
OL 60 %
SL 30 %



OL 70 %
SL 60 %

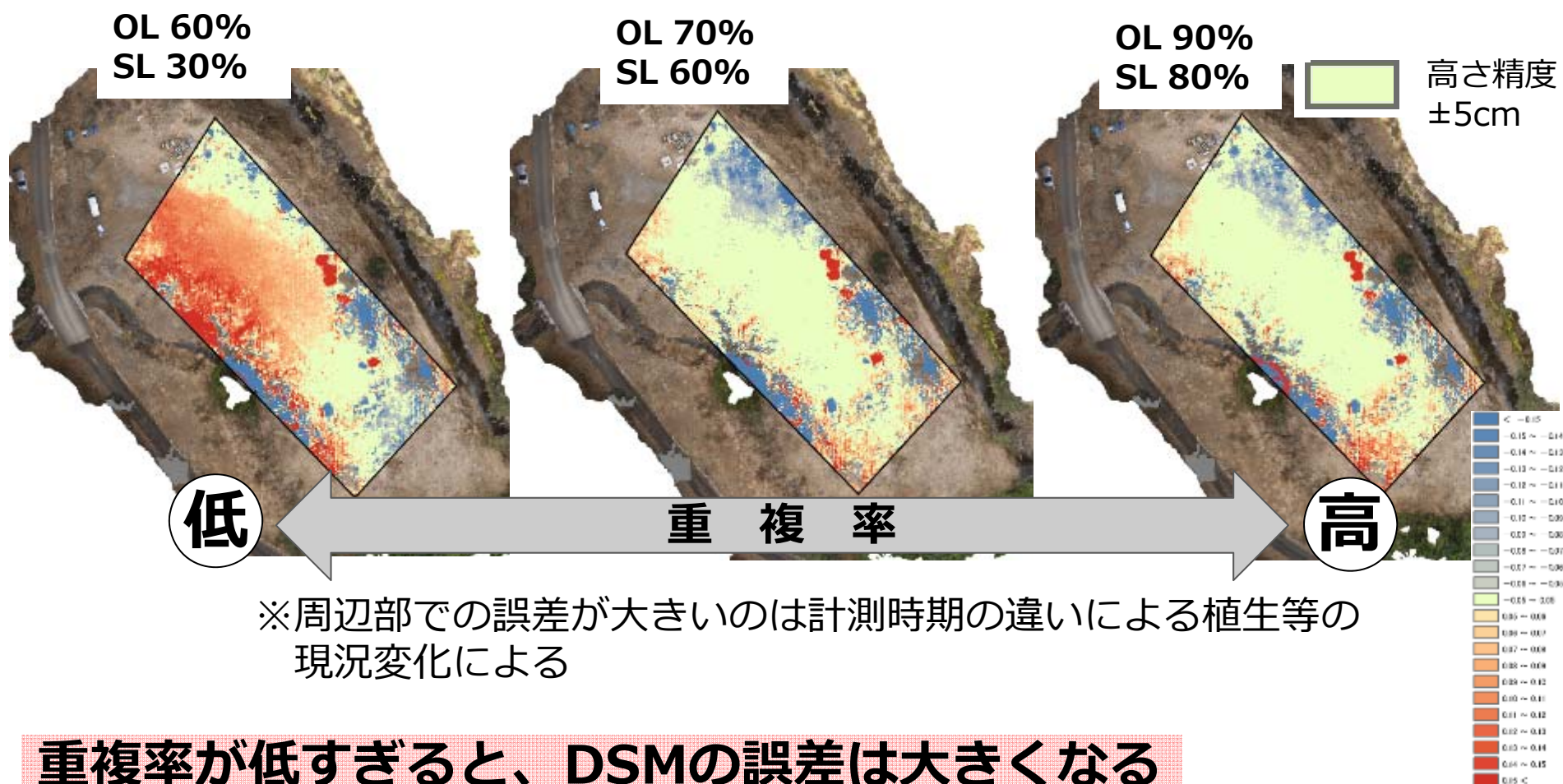


OL 90 %
SL 80 %



地上レーザ計測結果との比較

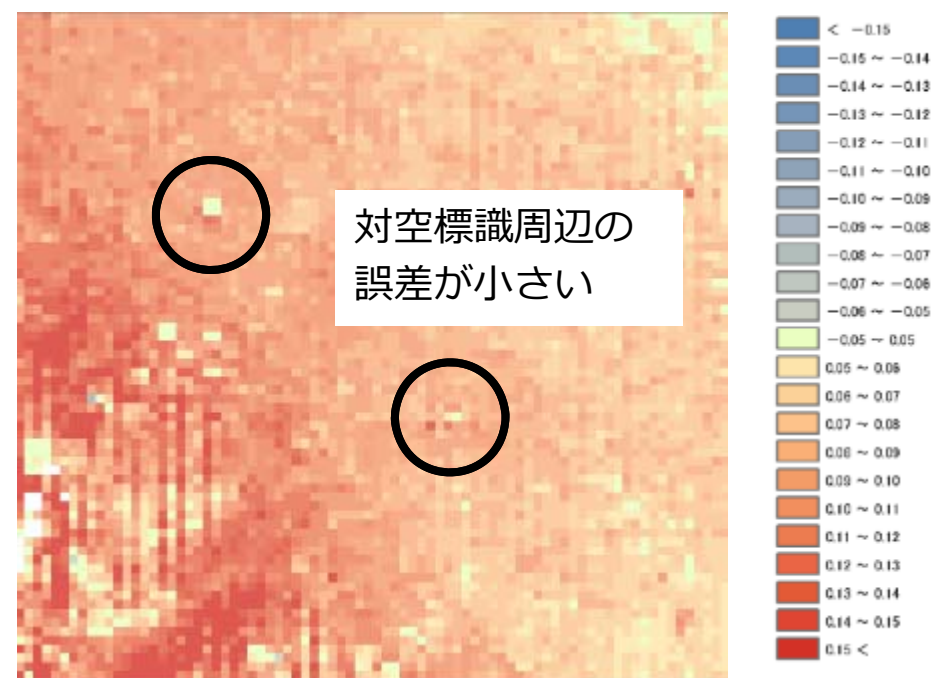
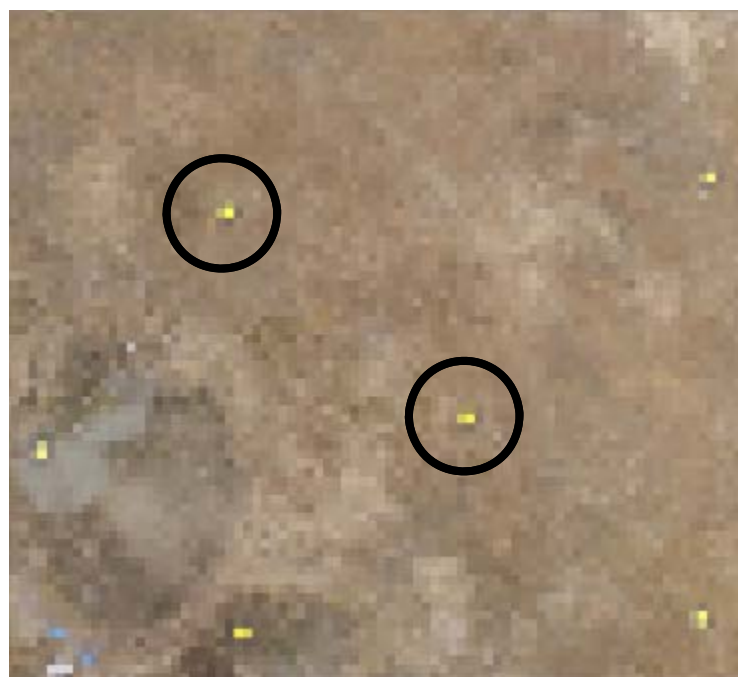
地上レーザ計測結果を真値として、DSMの差分をとる
(日本写真測量学会提供)



重複率が低すぎると、DSMの誤差は大きくなる

今回のケースでは、実効オーバーラップ70%、サイドラップ60%は必要

今回のケースで、重複率によって検証点での評価に違いが出なかった理由は？



OL60%、SL 30%の場合のオルソ画像（左）とDSMの地上レーザ計測値との差（右）

対空標識はマッチングしやすく、局所的に精度が高かった可能性

UAVを活用した電子国土基本図の更新例

対象：広島港の埋立地
(廃棄物処分場)



UAVによる全景写真



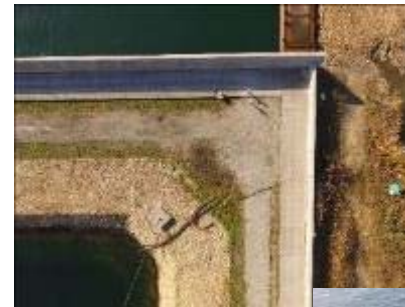
更新前の電子国土基本図

UAVを活用した電子国土基本図の更新例

- SfMの適切な処理のため、水部ができるだけ画像に写らないように陸部に沿って低高度で周回撮影(解像度約1cm)
- 死角を少なくするため、直下、内側から、外側からの3コース撮影。



飛行コース



直下



内側から

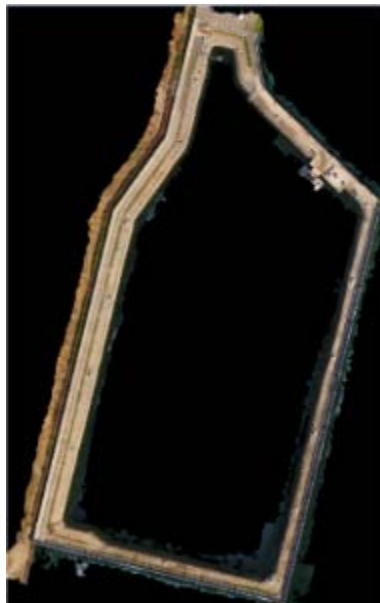


外側から



UAVを活用した電子国土基本図の更新例

- VRSにより標定点、検証点を計測。7点で標定し、9点で検証。
RMSEは水平方向2.9cm、垂直方向3.8cm。
- オルソ画像を作成し、電子国土基本図を更新。地理院地図(地理院タイル)、電子地形図25000、数値地図(国土基本情報)の更新版として提供。
- 本事例が基本図測量にUAVを活用した最初の事例。



UAVによる写真から作成したオルソ画像



オルソ画像と更新前の電子国土基本図



更新後の電子国土基本図

1. 国土地理院ランドバードの取組状況
2. 基本図測量でのUAVの活用
3. 今後の課題

➤ 災害時の対応

- 引き続き、安全の確保を実施
- 現地への到達、撮影から提供までの時間短縮



台風10号通過後の道路状況
(岩手県HPより)



➤ 平常時の対応

- 人材育成、技能の維持向上
- 画像情報のニーズの把握
 - ・ 撮影する災害の種類や規模
 - ・ 撮影アングル
- 防災訓練等への参加
- 平常時から地図更新等に活用



今後の課題2(基本図測量におけるUAVの活用関係)

- 引き続き、UAVを地図データ更新に適用できる条件等を検証
道路、公共建物、宅地造成、
埋め立てなどの事例を重ね
て検証したい。



UAVによる画像からの3Dモデル(建設中の学校)

- UAV搭載型レーザの精度検証
標高データの部分更新への適用の検証 等

