

災害時にドローンは使えるか

被害状況把握技術の社会実装



内山庄一郎

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

話題

1. 小事例
 - 三次元モデルの活用
2. 撮影プラットフォーム
 - 無人・有人航空機、航空安全
3. 自然災害への適用事例
 - 広島土砂災害
4. 災害対応
 - 3分間マッピング(デモ)
5. まとめ
 - 社会実装に向けて

話題

1. 小事例
 - 三次元モデルの活用
2. 撮影プラットフォーム
 - 無人・有人航空機、航空安全
3. 自然災害への適用事例
 - 広島土砂災害
4. 災害対応
 - 3分間マッピング(デモ)
5. まとめ
 - 社会実装に向けて

災害状況把握技術の高度化

自然災害に対する人間社会の安全・安心を目指す

ゴール:

1. 救命率向上と従事者の安全向上
2. 「社会実装」: 災害対応で実際に使われる技術

- 災害状況把握技術の高度化
- ✓ センシング技術の開発
- ✓ 成果の活用の推進

- ① 先端技術の開発・検証
 - 現場投入と成果の迅速化
 - 各種センサー・計測機器の活用
- ② 運用ノウハウの標準化
 - 導入・訓練・戦術適用の標準化
 - 全国消防組織との連携・信頼関係構築
- ③ 技術活用の支援ツール開発
 - 災害対応地図を現場で活用するためのアプリケーション開発
 - 地図活用技術の教育普及

社会への展開

人の命を救う防災科学技術の社会実装
➢ SAR(捜索救助)の現場から求められている早期の社会実装の願い

被害状況の把握技術の実証
2014年8月広島土流災害
「捜索支援地図」の作成
"UAV・空中写真・SIM-MVS・迅速・地理空間情報"

外部連携センター(広島県広島市) 広島県庁(広島市) 広島市消防局

災害発生 1ヶ月 30分 1日 3日 1週間 1ヶ月

- 災害発生直後のモニタリングによる予兆の観測・監視
- 30分以内に災害対応地図v-0を提供
- 頻回の観測による被災地変化の監視。災害対応の意思決定支援

社会への展開

はじめに

➤ 問題提起: 災害状況の迅速な把握に使えるか?

- ツール: UAVとSfM
- 最初の事例: 2014年11月 伊豆大島の土砂災害

• 手法

- ❖ 画像: 手持ちカメラ、空中写真(有人・無人航空機)、動画
- ❖ 測量: 地理院地図、レーザー距離計、TS、GNSS

• 特徴

- ❖ 処理時間: 60秒~数日
- ❖ (半)自動、簡単(専門家でも?)

データソース

1. 空撮・撮影
 - 無人航空機
 - 有人航空機
 - 手持ち、ポール、動画、Web画像、Web動画
2. 既存写真
 - アナログ空中写真のスキャニング
 - デジタル化された空中写真
 - デジタル航測カメラによる空中写真

SfM-MVSとは



❖ Structure from Motion
+
❖ Multi-view Stereo
↓
SfM多視点ステレオ写真測量

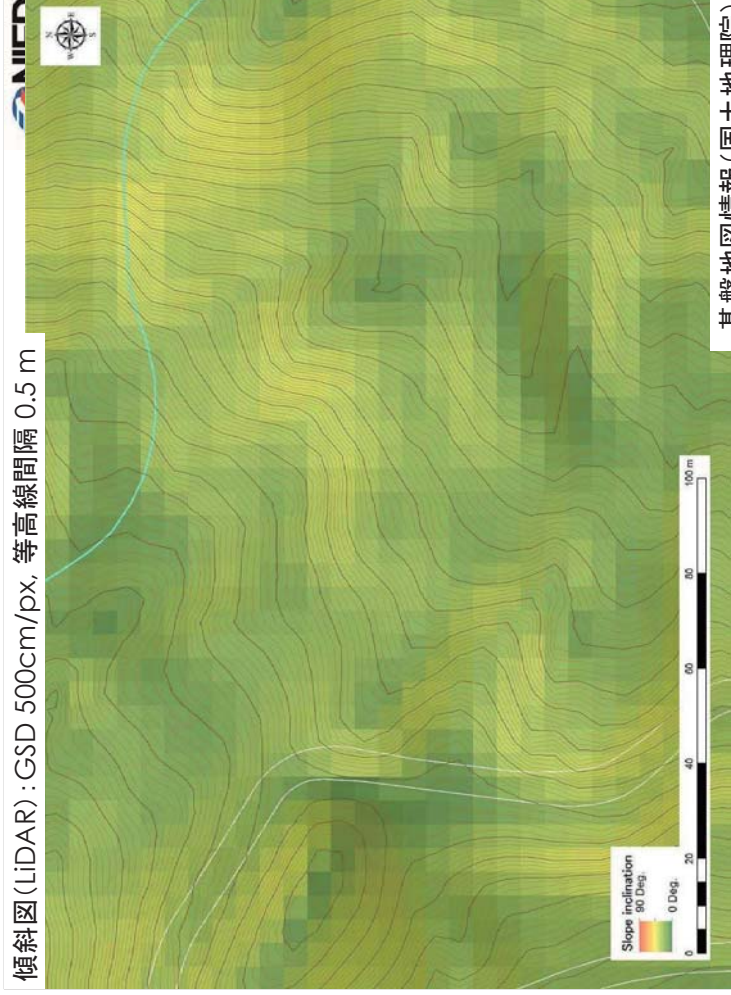


成果

- プロダクト: 高精細な地形情報
 - ✓ オルソモザイク画像(正射投影画像)
 - ✓ 数値地表面モデル(DSM: Digital surface model)
- 範囲: 局所~広域
 - ✓ UAV: 1 km²(マルチコプター)~数 km²(固定翼)
 - ✓ 有人機の例: 100 km²
- 処理時間: データ量とノウハウ
 - ✓ 数日~半日~数時間~1時間~60秒未満

小事例集

傾斜図 (LiDAR) : GSD 500cm/px, 等高線間隔 0.5 m



基盤地図情報 (国土地理院)

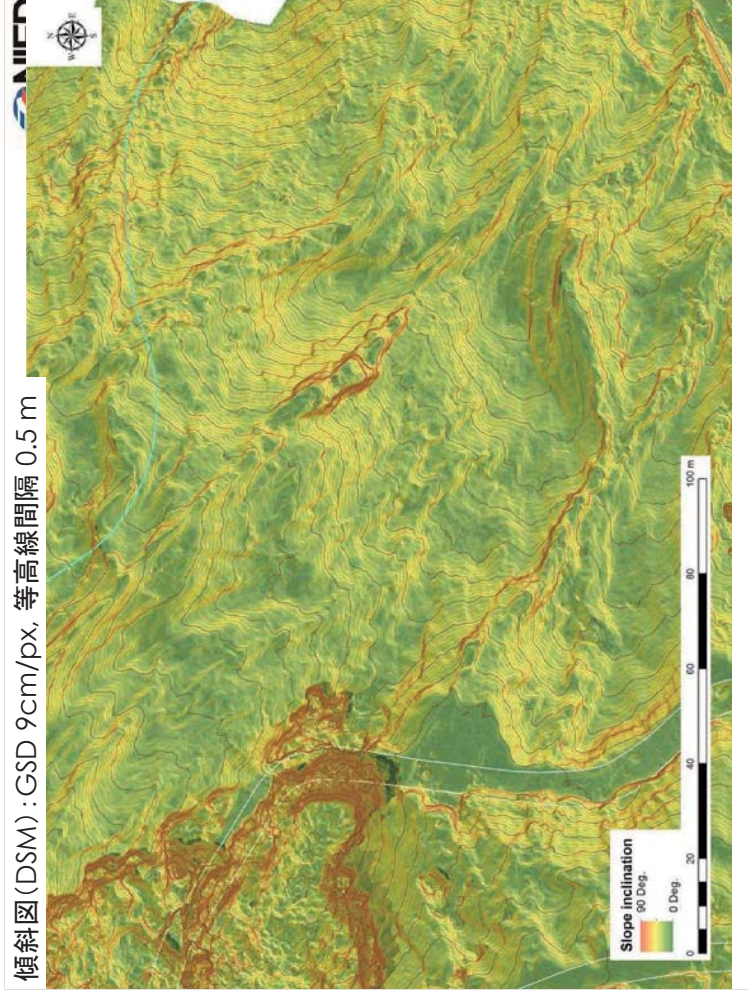
SfM多視点ステレオ写真測量の適用事例：地形

- 日時： 平成25(2013)年11月14日(木) 12:10~12:45
- 場所： **伊豆大島**の斜面崩壊地形(平成25年台風第26号災害)
- 範囲： 約12ha(約450m四方)
- 機材： DJI式Phantom型
- カメラ： Ricoh GR(16Mpx、APS-C、焦点距離18.3mm)
- 高度： 対地50m
- 枚数： 578枚の真下写真(5フライト)
- 結果：
 - DSM: GSD 9cm/px
 - オルソモザイク画像: GSD 2cm/px



- ※ 平成25年台風第26号：10/16の09時まで824mm/24h、大島町元町等で36名以上の人的被害
- ※ DSM: Digital surface model(数値表面モデル)
- ※ GSD: Ground sample distance(地上解像度)
- ※ オルソモザイク画像：正射投影図(地図と重なる写真地図)

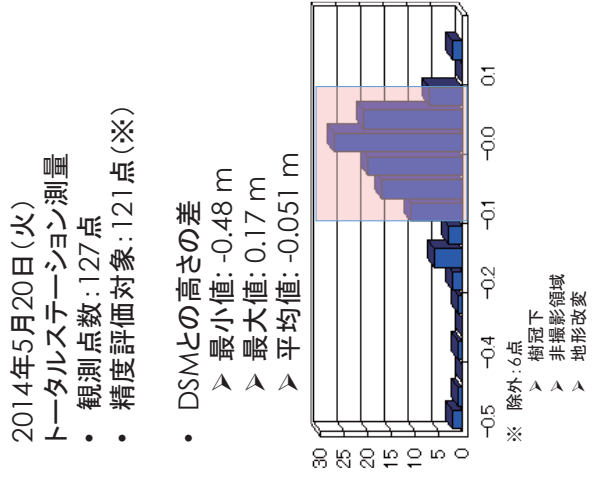
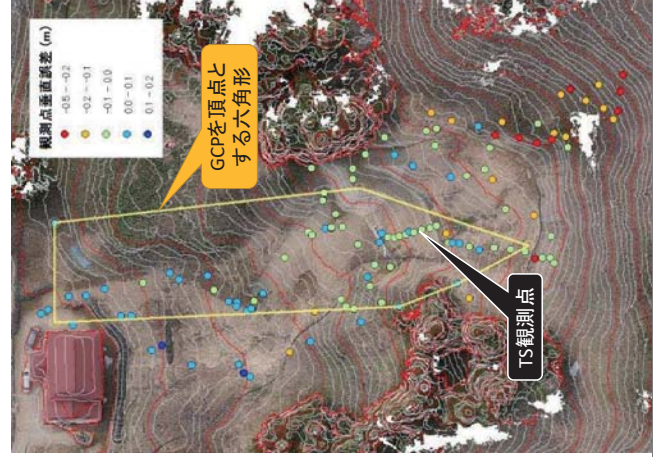
傾斜図 (DSM) : GSD 9cm/px, 等高線間隔 0.5 m



福島県(西会津方面)の地すべり災害地



トータルステーション測量とDSMとの比較



巨大な対象物の計測: 富士山北斜面の積雪量推定

- 2014年4月9日(水)
- Nikon D7000 (APS-C, 16Mpx, 焦点距離17mm)
- 撮影高度: 対地700m
- 有人航空機(ヘリコプター)
- 撮影枚数: 66枚
- GCP: 3点 (H20 LiDAR)



富士山北麓

GCP設定位置および撮影位置



背景地図: 地理院地図 + 陰影図 (H20計測LiDAR)

積雪環境での撮影と解析事例



GCP-1

GCP

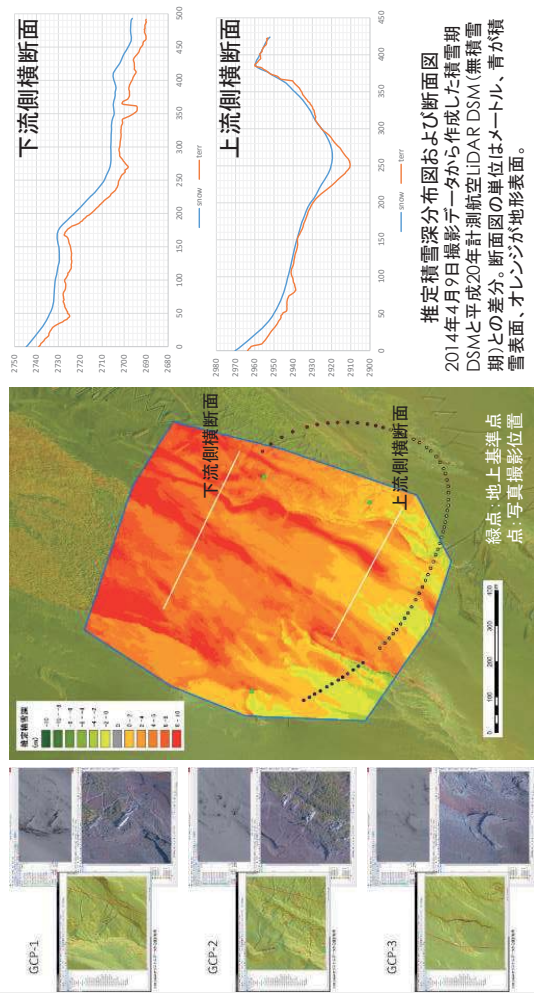
H20 LIDARでの
GCP位置

H20 LIDAR DSMから値を取得

Lat: 138.743062
Long: 35.375768
Alt: 2914.537842

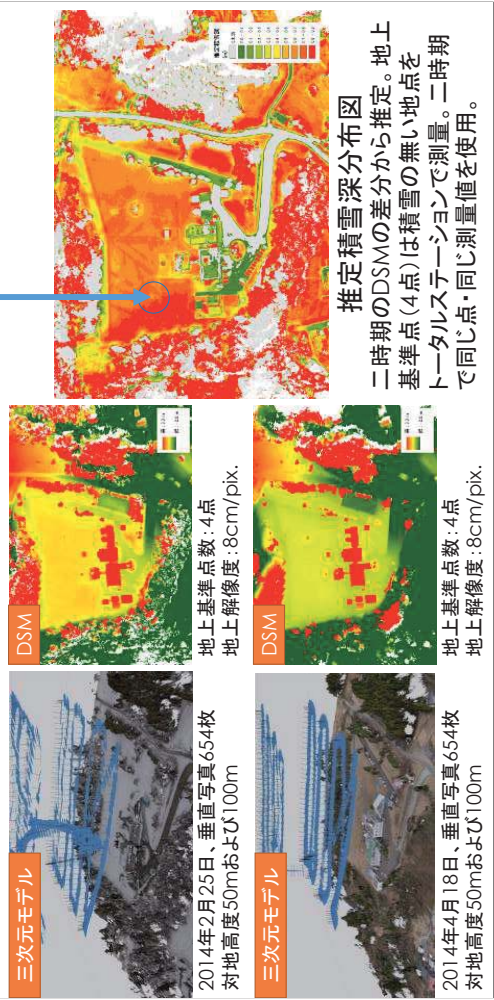
富士山北麓の積雪深推定

◆結論：画像全体が積雪でもSfM処理は可能。精度検証はできず。正確なGCPを設定できれば精度向上が期待される



結果：積雪深の推定

◆結論：実用的な精度で積雪深を推定可能
推定積雪深：75.03 cm
実測値：77 cm



維持管理と既存ストックの活用

- 構造物点検におけるUAV空撮技術の活用
- 急傾斜の道路法面など、構造物点検が難しい場所
- 構造物の適切な維持管理



クラックの確認、計測、カルテ化

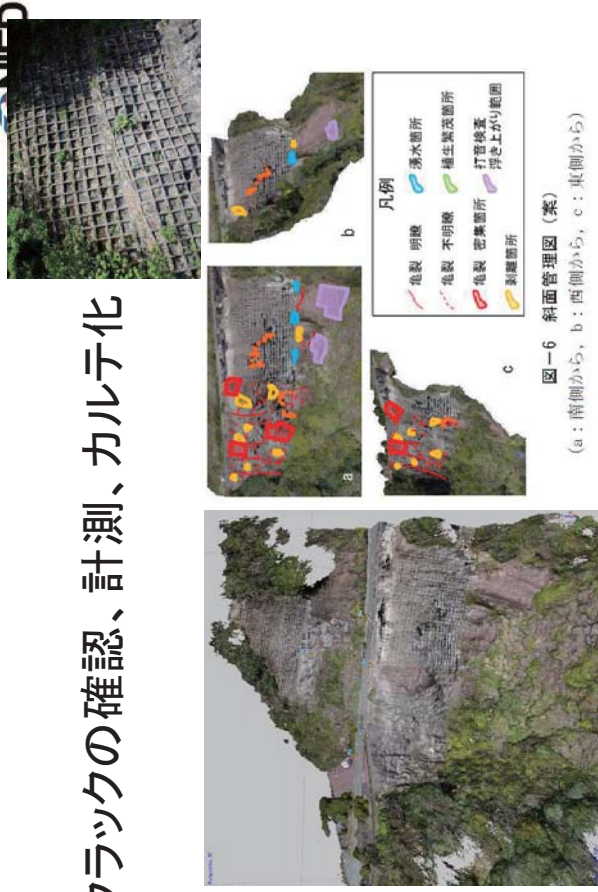


図-6 斜面管理図(案)
(a:南側から, b:西側から, c:東側から)

今村大地・内山庄一郎・江山栄一・梅田篤(2015)構造物点検における小型UAVによる低空空撮技術の活用,日本地すべり学会誌, Vol. 52 (2015) No. 6 p. 293-298.

動的三次元モデルの作成

- 8台のHDビデオカメラ映像
- 実大振動台実験
- 毎秒24フレームの三次元モデルを作成



撮影機材と配置



各カメラの撮影画像



同一時刻の各カメラのフレーム
 左上からカメラ番号1・2...、
 右下が8
 フレーム番号6839

1. 小事例

- 成果の迅速性
- 高精度
- 精度が良い(目的次第)
- 低コスト
- 対象物のサイズを問わない
- 積雪環境も問題ない
- 撮影プラットフォームを問わない
- 写真に写らない部分は計測できない
- GCPが置けないと困る
- 撮影位置情報を取得すべき

SfM-MVS処理による三次元モデルの作成



作成された三次元モデル
 青い四角は動画撮影位置。フレーム番号6839

話題

1. 小事例
 - 三次元モデルの活用
2. 撮影プラットフォーム
 - 無人・有人航空機、航空安全
3. 自然災害への適用事例
 - 広島土砂災害
4. 災害対応
 - 3分間マッピング(デモ)
5. まとめ
 - 社会実装に向けて

回転翼機と固定翼機

近年の無人航空機に共通の機能(センサー):

位置測定(GPS)、姿勢制御(慣性計測装置)、機首磁方位(コンパス)や飛行高度(気圧計)の計測



回転翼機の例

一般的な特徴:

- 垂直離着陸が可能
- 飛行速度が遅い(10-40km/h)
- 航続時間・航続距離が短い(10数分)
- 直角移動や停止(ホバリング)ができる
- 上昇気流に弱い・耐風性が低い



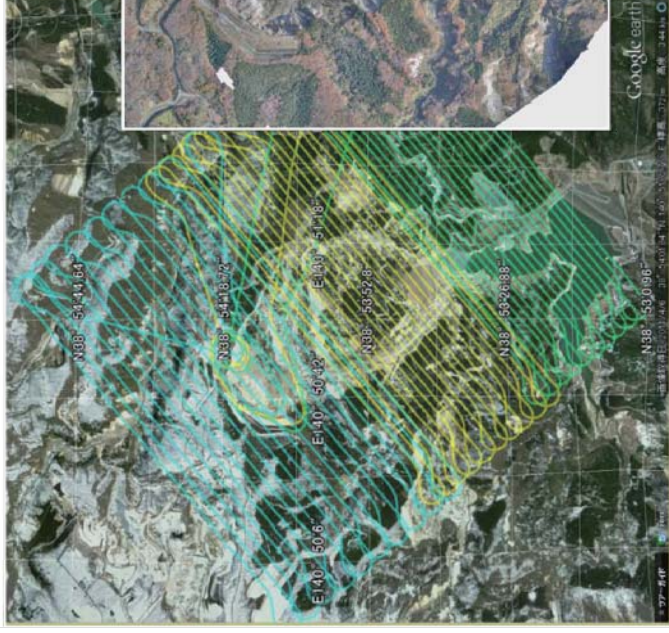
固定翼機の例

一般的な特徴:

- 離着陸にある程度の広さが必要
- 飛行速度が速い(50-90km/h)
- 航続時間・航続距離が長い(数十分)
- 旋回にある程度の半径(100-200m)が必要
- 耐風性が高い

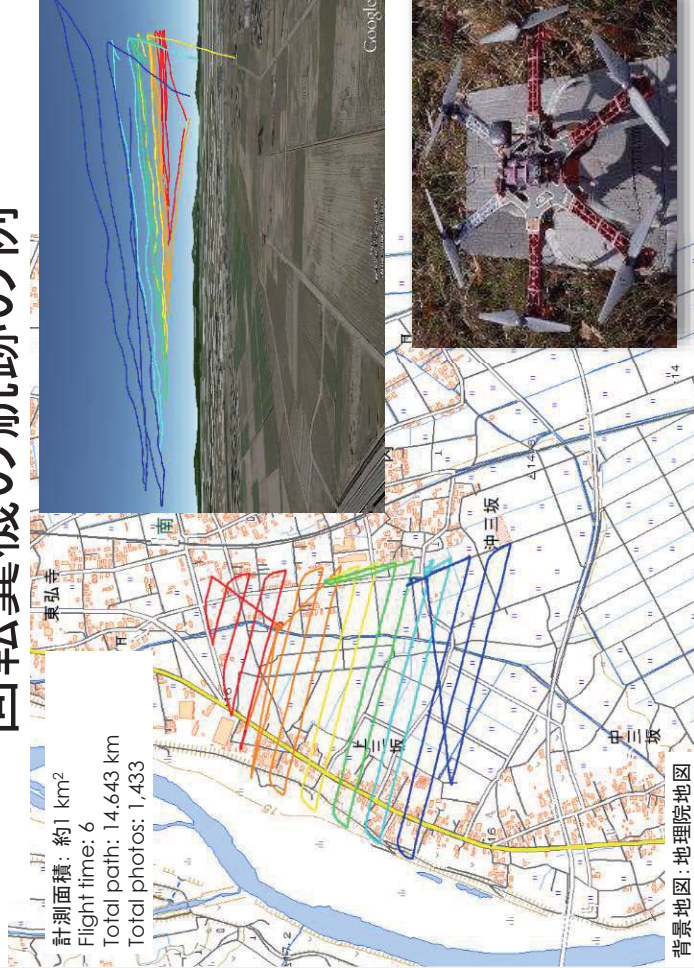
固定翼機の航跡の例

計測面積: 約6.4 km²
Flight time: 3
Total path: 1.67 km
Total photos: 3,464



オルソモザイク画像

回転翼機の航跡の例



計測面積: 約1 km²
Flight time: 6
Total path: 14.643 km
Total photos: 1,433

背景地図: 地理院地図

UAV(※)のメリット?



- UAVのメリット:
- 機体が安い
 - 操作が簡単
 - 低参入障壁



- UAVのデメリット:
- 低信頼
 - 脅威
 - 事故多発

無人航空機のメリットを勘違いし
何も学ばず、対策をとらず、
電源を入れて飛ばしているだけでは、
いつか必ず、重大事故の当事者になります

※UAV: Unmanned aerial vehicle: 無人航空機、ドローン、ラジコンなどとも呼ばれる
自動操縦などの高度な機能を持つものをUAS: Unmanned Aircraft System (無人航空機システム)と呼ぶこともある

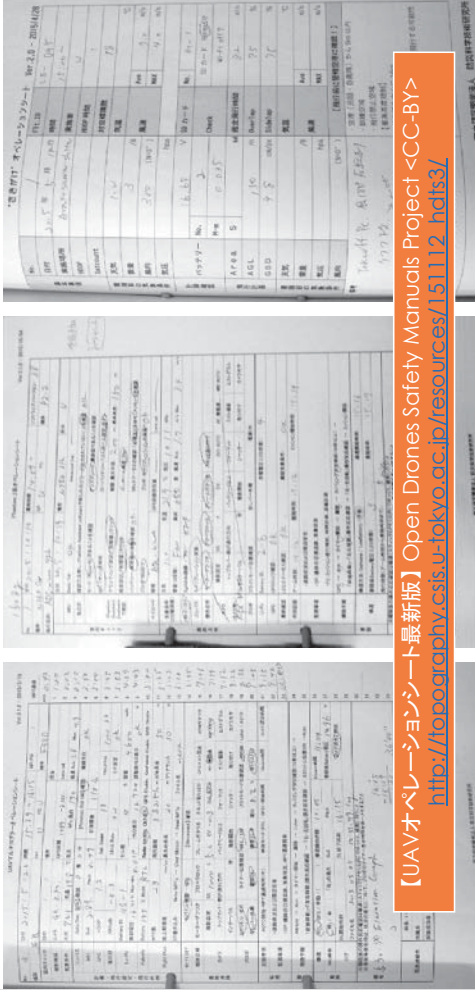
多くの無人航空機は冗長性が無い

- 航法デバイスを一系統しか搭載していない
- 一つでも障害が発生すると、墜落する可能性が高い
- 飛行性能の限界が低い(飛行時間、耐候性、)

運航者としての対策:

- ✓ 飛行前点検: 原因不明の排除
- ✓ 「安全に墜落させる」判断

飛行前点検: UAVオペレーションシート



【UAVオペレーションシート最新版】 Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdfs3/

機体の種類に応じた3種類の飛行前点検シート

急いでいても、飛行時間が短くても、いかなる理由があろうとも、**かならず**飛行前点検・記録を実施
 異常が見つければ飛行を中止

磁気コンパスの取り付け設定ミス



機体: 自作試作機
 条件: 敷地内、飛行前点検未実施
 被害: 機体アーム折損、第三者被害・人的被害無し
障害: 上昇後、円旋回をはじめた。送信機のステータス操作をするも、意図した方向に飛ばない。じついに楕円軌道が大きくなるが操縦不能のため、高度を落とし、地面に激しくクラッシュして停止させた。
原因: 管理ソフトウェア上の磁気コンパスの設置方向を上下180度反転させた状態で設定していた。
 溝を巻いていく様子から、**トイレットボール現象**などと呼ばれるらしい。

電波の性質

一般的なラジコン用の電波 (2.4GHz):

- 直進性の強い電磁波
- 遮蔽に弱い(光に似た性質)
 ✓ 視通がない場所は届かない、と考えて運用するほうが安全
- 減衰が大きい
 - 距離が離れると、突然、途切れる
- 帯域幅(情報転送速度)が広く、通信できる情報量が多い
- 2.4GHzの場合、通常は混信に強い

事例：致命的な風を察知せよ



1. 砂防えん堤 (高さ約15m)の上から離陸
2. 下流側を撮影し垂直に降下
3. 降下中にバランスを崩す
4. スロットルを最大にするが反応せず、操縦不能となる
5. 墜落
6. バランスを崩してから墜落するまでの時間は2.3秒



【气象条件】

- 下流から上流に向かって吹く谷風が砂防えん堤に当たり、砂防えん堤の下流側では強い上昇気流が生じていた。体感もあった。

【原因】

- 上昇気流のある場所で機体を垂直に降下した
- 上昇気流を体感していたが、墜落の危険を認知できていなかった
- 慌ててスロットルを上げた

【対策】

- マルチコプターにとって致命的な風を察知する能力(知識、観察力)を身につける
- 上昇気流の無い場所へ降下する。やむを得ない場合は垂直降下ではなく斜め降下を行う
- 万が一、上昇気流に遭遇した場合は水平移動で回避する。スロットルを上げてはならない

災害時におけるUAVの運用

平成27年常総市の水害:何機のヘリが飛んでいるでしょうか→30分で少なくとも14機に遭遇

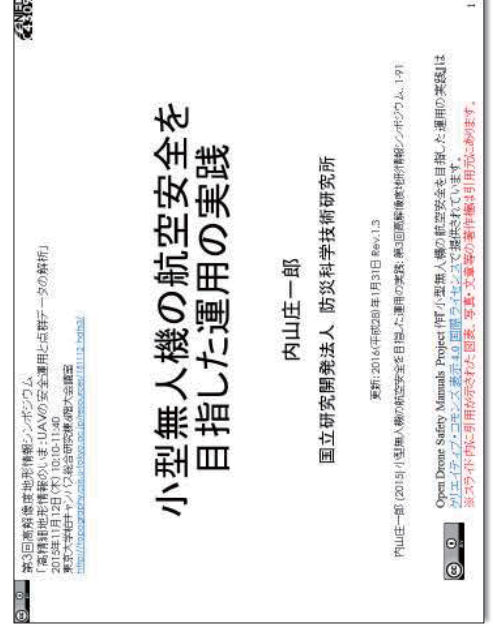
▶ 現時点では、有人機が過密に飛行する空域で遠方までUAVを飛ばすことは避けるべきと考える



- 災害時には有人航空機と無人航空機の空域が交差する
- 災害対応中の有人航空機 特にSAR (Search and Rescue)ミッション中は、上空および機体付近を飛行し、要救助者の位置・救助を行う
- 常に有人機とうしの安全確保に高度な技術と注意を要する。小さく見えにくい無人航空機にも注意を向けるのは難しい
- 災害時等、有人機が過密な状況でのUAV飛行の明確なルール、運用技術が無い
- 航空無線などUAV運航者と有人機との意思疎通の手段がない
- VFR機の多くがSSR Mode-S未装備のため、UAV運航者が地上でVFR機の正確な位置・高度の把握や、事前回避ができない

平成27年9月10日、著者が有人航空機上より撮影

「3rd hdtts」



第3回高解像度地形情報シンポジウム
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdtts3/

2. 撮影プラットフォーム

1. 有人航空機と無人航空機の空域共存の難しさ
 - ・ 空域が交差している
 - ・ 災害時は完全に交錯する
 - ・ 有人航空機から無人航空機は見えない
 - ・ 緊急時の有人機運航は緊急自動車と同様に優先すべきか
 - ・ 短期的な解決技術の実装は難しい
 - ・ 当面は運用で解決を図るしかない
2. プラットフォームメリットの最大化を目指す
 - ・ UAVのメリットを勘違いした危険な社会認識を脱する
 - ・ 有人航空機のほうが有利なシチュエーションも多い

話題

1. 小事例
 - 三次元モデルの活用
2. 撮影プラットフォーム
 - 無人・有人航空機、航空安全
3. 自然災害への適用事例
 - 広島土砂災害
4. 災害対応
 - 3分間マッピング(デモ)
5. まとめ
 - 社会実装に向けて

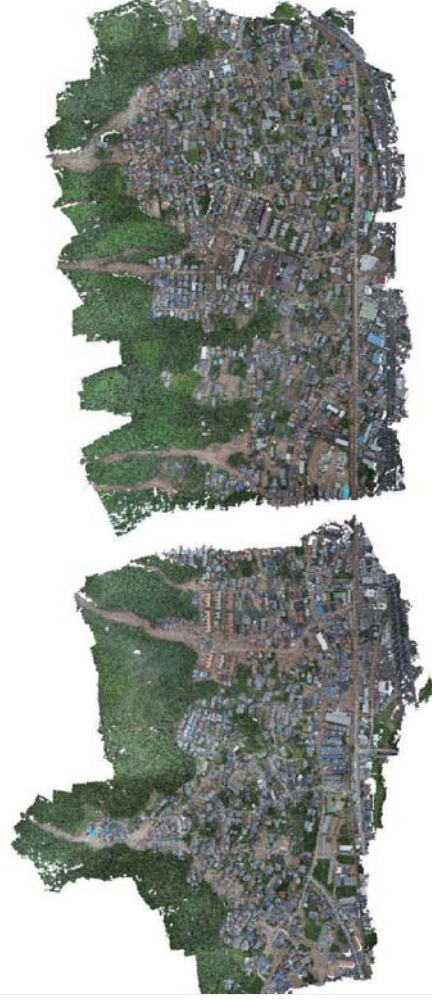
2014年8月広島土流災害

- 災害前の空中写真:2008年DMC(25枚)



2014年8月広島土流災害

- UAV撮影:対地高度150m、14フライト5,500枚
- ❖ 日の出直後から現場待機、雨の合間を縫って撮影



2014年8月広島土流災害:UAV

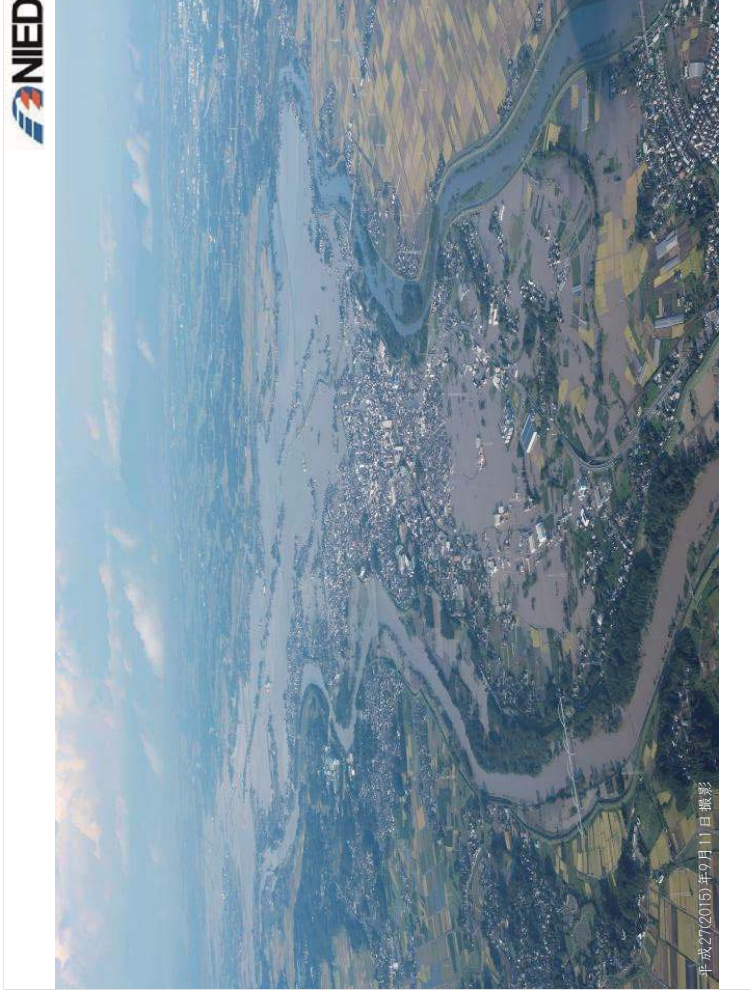


地上基準点測量の実施





- 二時期差分
2008災害前・2014災害後
- **赤系**: 災害前よりも高さが**低くなる**(例:
家屋流失)
- **青系**: 災害前よりも高さが**高くなる**(例:
土砂の堆積)



平成27年9月豪雨

- ✓ 自然災害と被害の概要
 - 平成27年9月9日から11日にかけての豪雨
 - 関東地方・東北地方の広い範囲で河川の越水や土砂災害が発生
 - 茨城県常総市では鬼怒川の堤防が決壊し広範囲で浸水被害
- ✓ 課題
 - **被災域が広大: 約100km²**
 - 平成26年8月広島土流災害: 約1.7km²
 - 無人航空機による全域撮影は困難
 - 救助ヘリが地表付近で搜索救助活動を展開
無人航空機と無人航空機の空域が交差している状況

✓ アプローチ

- 有人ヘリコプターから斜め写真を撮影

H27常総市水害での対応事例: 有人ヘリコプターの活用

有人ヘリコプターによる空撮画像を用いた 平成27年9月豪雨における災害対応地図の作成

撮影高度: 1,200m
撮影枚数: 約600枚
撮影範囲: 約100km²



2016年熊本地震における 仙酔峡(阿蘇市)の崩壊発生状況調査

10年周期で豪雨による集団的崩壊現象が繰り返し観察される。

2012年九州北部豪雨による集団的崩壊の発生。
次の崩壊発生までの斜面地形および植生の回復過程の経過観察。

2016年熊本地震の発生。

斜面への影響および下流域への土石流災害リスクの調査

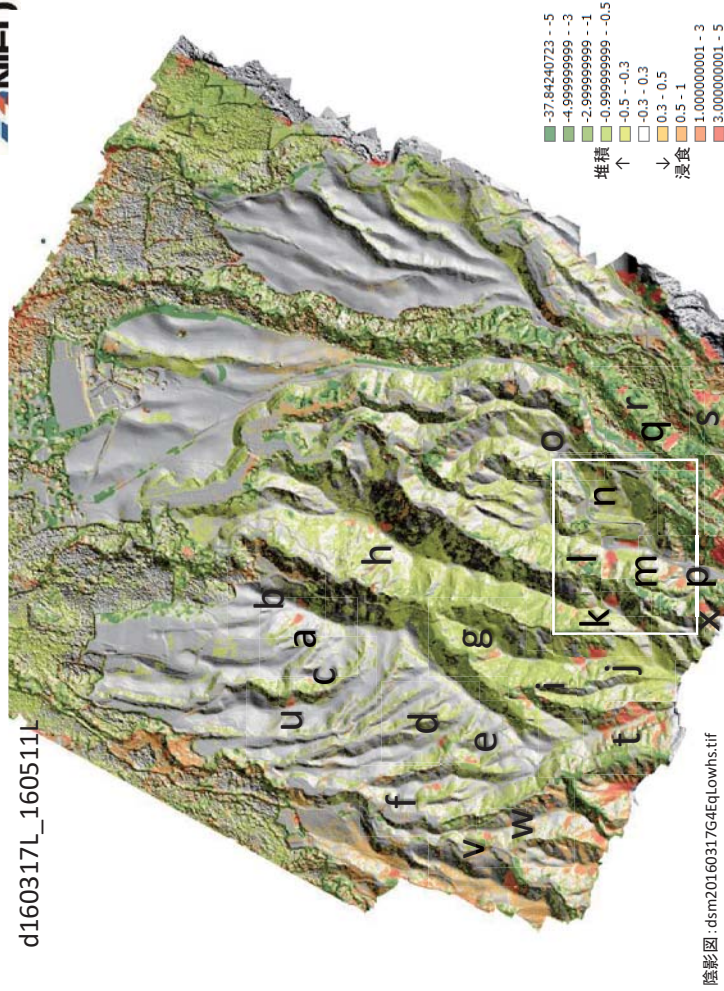
d160317L_160511L

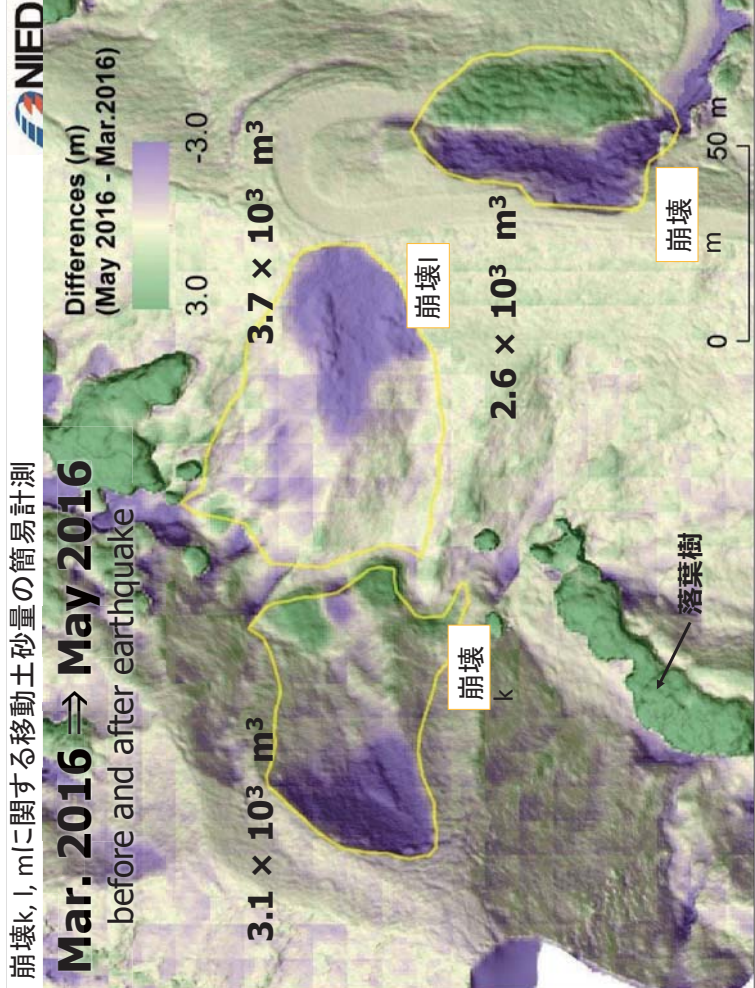
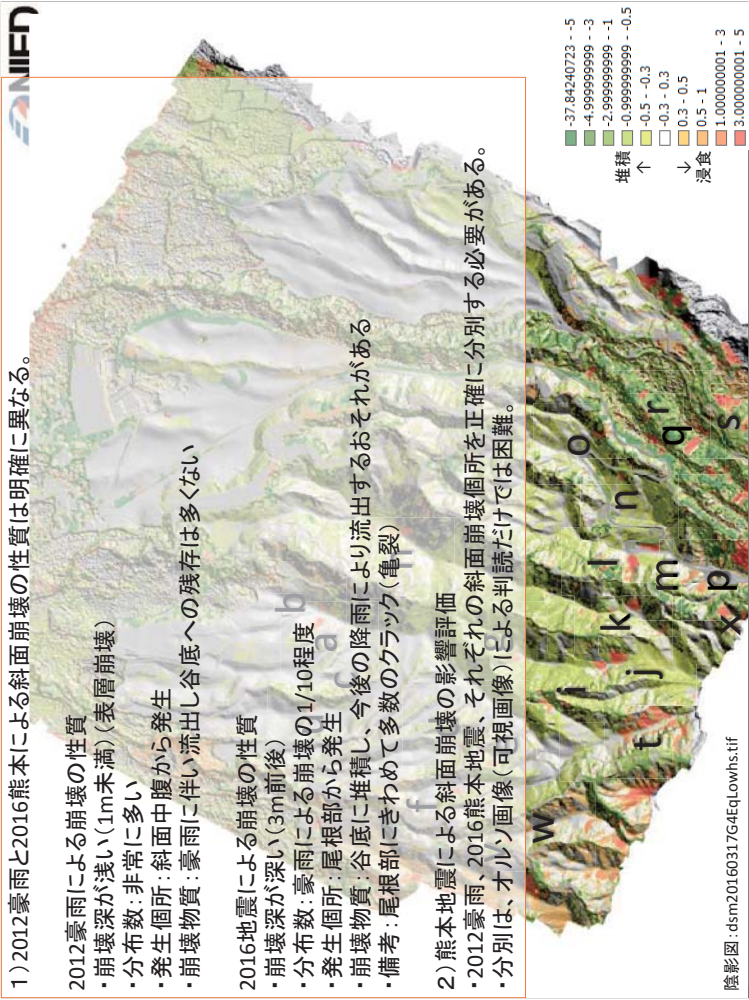


160511ij



d160317L_160511L





3分間マッピング in 羅臼

- デモの概要
 - 500m四方
 - 120秒
 - GSD 8cm/px
 - 1m等高線

結果

- プロダクト: 高精細な地形情報
 - ✓ オルソモザイク画像(正射投影画像)
 - ✓ 数値地表面モデル(DSM: Digital surface model)
- 範囲: 局所～広域
 - ✓ UAV: 1 km²(マルチコプター)～数 km²(固定翼)
 - ✓ 有人機の例: 100 km²
- 時間: データ量とノウハウ
 - ✓ 数日～半日～数時間～1時間～数分

話題

1. 小事例
 - 三次元モデルの活用
2. 撮影プラットフォーム
 - 無人・有人航空機、航空安全
3. 自然災害への適用事例
 - 広島土砂災害
 - 常総市の水害
4. 災害対応
 - 3分間マッピング(デモ)
5. まとめ
 - **社会実装に向けて**

結果: プラットフォーム

- メリット
 - ✓ UAVは高い機動性、低い運航コスト、頻回観測可能
 - ✓ 有人機は広範囲、高い安全性
- デメリット
 - ✓ UAVは局地的
 - 大災害でも現場単位では局地的であり、そこでは有効
 - ✓ UAVは安全性に難がある
 - 機体の性能・信頼性、運航者の技能
 - ✓ 災害時はUAVと有人航空機との共存が難しい
 - 空域の交差、視認の難しさ、装備普及の障壁

結果：解析

- メリット
 - ✓ SfM写真測量は半自動
 - ✓ 目的・必要精度に応じて計算量を調整できる
- デメリット
 - ✓ SfM写真測量は難しい
 - 実装を進めるべき災害対応のフロントは既にミッションヘビー
 - ✓ 地表面変化(差分)には過去の情報が必要
 - 過去の空中写真等が必要。現場ではすぐにほしい

自治体へのUAV技術の導入

- <現状> 先端技術と現実との距離感がへん!
- ドローン妄想の蔓延 (ex. 報道ヘリ→報道ドローン)
- 実現・普及には時間を要する
 - ✓ 技術的限界が置き去りにされた議論が先行する雰囲気
 - ✧ 全天候対応超耐風クラウドモニタリング自動航跡最適化リアルタイムマッピング映像伝送ハイブリッド電波中継レスキュー生命感知追尾型資機材搬送災害対応ドローン

1. できること、できないことを整理する

2. 災害対応の現状を確認する

☆ 現実的なUAV技術の社会実装のカタチ

ドローンでできること、できそうなこと

- 低空(対地150m未満)からの情報取得
 - 高解像度: 数cm/px
 - 局所的: 数km²
 - 即時: 高解像度映像伝送、迅速マッピング
 - その他: 広報、検索、熱赤外捜索、運搬、水難、水難、電波中継、点検、監視、自動運航

ドローン(UAV、無人航空機)の特徴

- 可搬性・機動性
- 簡易(操縦・整備)
- 低コスト

ドローンは、現場向けの資機材

- ✓ とっておきの一機ではない
- ✓ 広域RMや全体概要把握は別の技術:ヘリ、被害推定、等

ドローンでできること、できそうなこと

• 技術の成熟度

1. アイディアとしてのみ存在
2. 研究に着手
3. プロトタイプ、特定条件下で成功
4. 初期製品登場、高額(低性能)
5. 競合製品出現、価格低下
6. 専門家の手を離れた事例の出現・蓄積
7. メーカー増、低価格化、導入事例多発
8. 技術向上・簡易化、事例集積
9. 発展型の登場
 - 無線電話
10. 標準装備化、普及
 - 熱転写プリンタ
11. 「枯れた技術」化
 - 真空管
12. レガシー化

上空からの位置計測

室内自動マッピング

UAV-SfM

UAV映像の活用

できること、できないことを整理する

- UAV技術の整理
 - ✓「自治体の災害対応における」・・・
- UAV活用・導入検討の状況を調査する
 - ✓UAV導入を検討している自治体
 - ✓UAV導入事例のある自治体
 - ✓UAV活用事例(訓練・実災害対応)のある自治体
 - ✓その他、全国の災害対応機関

まとめ

- 技術のマッシュアップ:複数の専門分野を結び付けて新たな価値を生み出す
- 「災害対応地図」が標準的な災害対応手法として利用される日が来るのでは
- 撮影プラットフォームとしての特性を理解し、安全を確保し、適切に運用する
- 最小限の手数で最大限の成果を得るためには運用ノウハウが必要
- 新技術を作るだけでは不十分。実装される側の事情に精通し、現場に適合する形を持たせることも必要

ドローン導入の現実

- ツルの一声型
 - 現場の職員にとっては○○○○
 - 気合と根性は役に立たない。「とにかく使ってみろ！」
- 降臨型
 - (ありがたい)寄付・賞与
 - (すぐれた)トップのリーダーシップ
- メリット先行型(後ろに販売者の影)
 - メリット(機体)のみ検討。仕様の表しか見ない。現実は・・・
 - 非現実的になりがち
- 的外れ型
 - 有人ヘリとの比較検討??
 - 画像・映像を撮る・送る=全部同じ(テレビ電話、ヘリテレ、デジタル、ドローン、..)
- 結果:
 - 1 形だけ
 - 2 無茶をする
 - 3 お蔵入り(無期限検討中)
- ✓ 導入目的、運用ノウハウ、周辺事例、何も無い
- ✓ 原理的に、練習・訓練が必要な資機材
- ✓ 戦術を変える資機材。戦術の検討が必要
- ✓ 検討には活用イメージ・明確なメリットが必要。使わないと分からないという矛盾