

生きる、を支える科学技術



防災科研

令和2年度 第2回地方公共団体の危機管理に関する研究会
2020（令和2）年10月13日（火）13:00～14:00
ドーンセンター特別会議室（大阪市）

自然災害における ドローン活用戦略

内山庄一郎

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

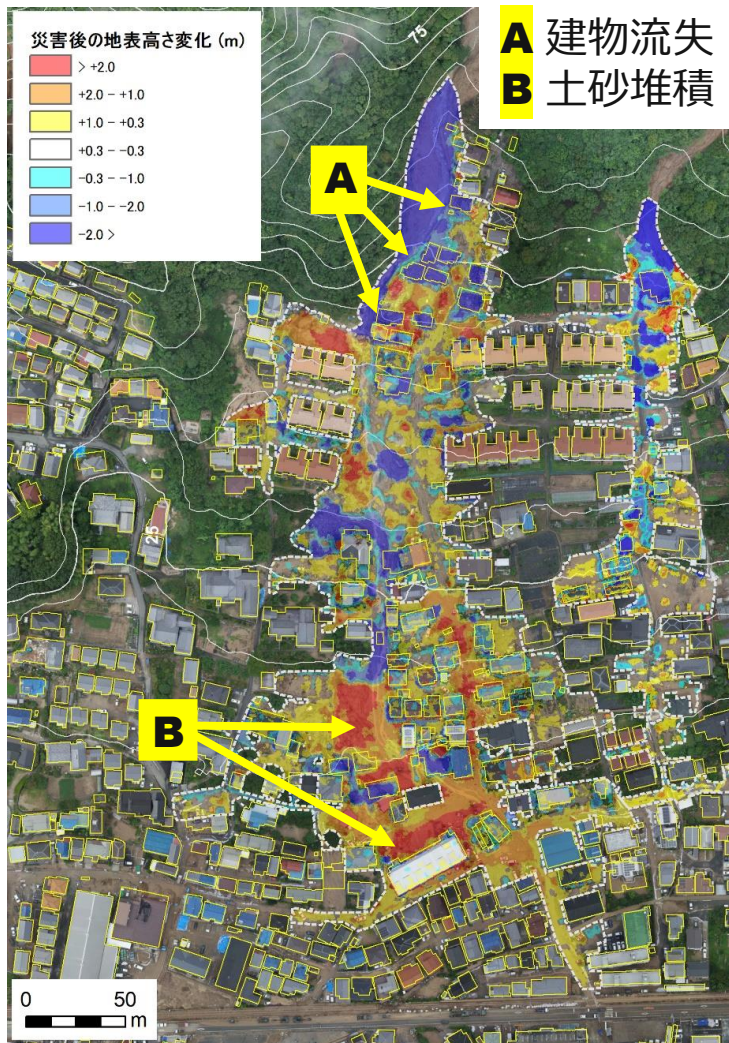
マルチハザードリスク評価研究部門

uchiyama@bosai.go.jp



飛ばせる、その先へ

1. 防災は、明日と未来の誰かのために
 - 大規模災害を意識したドローン活用
2. 形だけの活用体制
 - 「どう使う」から「なぜ使う」へ
3. インテリジェンス
 - 科学的な解釈が生む「知の戦力」
4. 災害対応におけるドローンの活用
 - 五段階の活用レベルとGEORIS構想
5. テクノロジーからソリューションへ
 - 情報力の向上が拓く未来

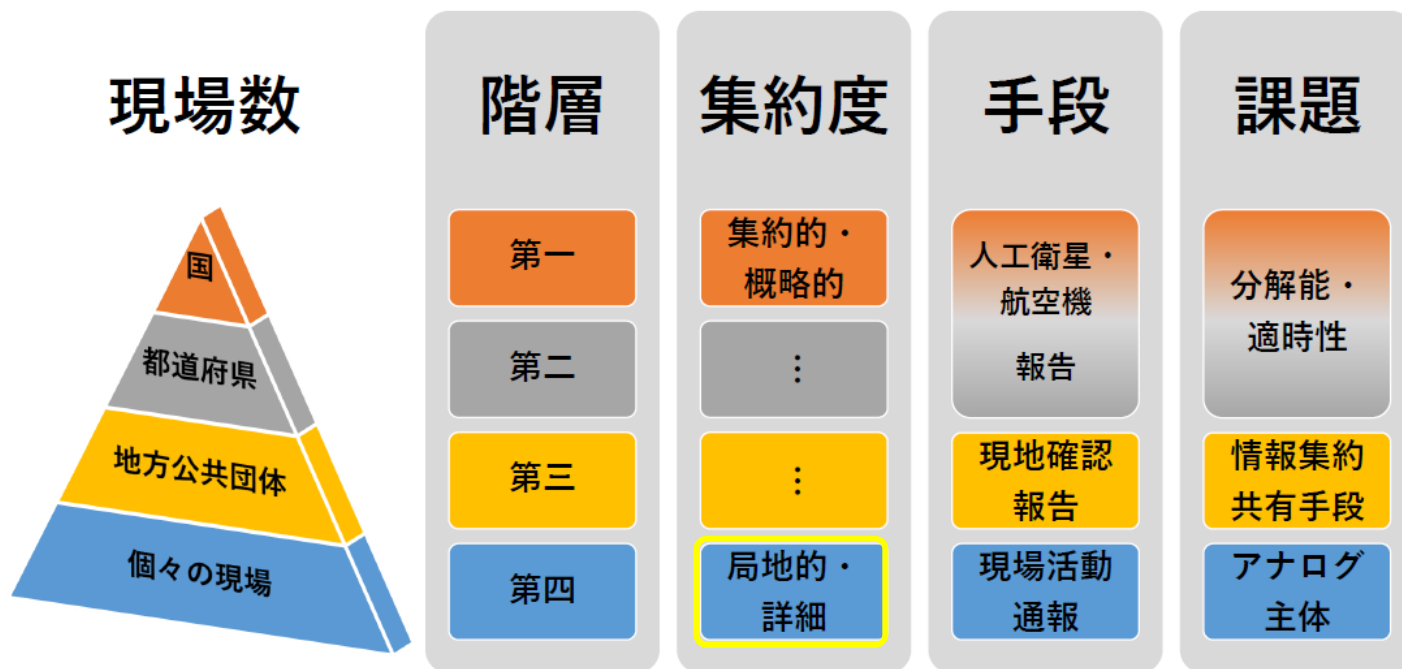


搜索支援地図 (特許6467567)
(2014年8月豪雨による広島市の土石流災害)

1. 防災は、明日と未来の誰かのために

激甚化・高頻度化する気象災害、東海トラフ地震、首都直下地震など、未だ経験のない大規模災害の発生が確実視される現在...

➤ ドローンは誰のために、どこで役に立つ？→大規模災害を意識した組織的連携



災害情報の三角形

情報の集約度・利用者、従事者数・取得手段とその課題

消防防災分野でのドローンの活用

多くの用途が
「情報活動」

1. 火災：リアルタイム火の見櫓
 - 火勢、延焼、部隊展開の確認、火災原因調査
2. 救助：搜索・検索
 - 山間部・水難：搜索・検索、進入標識、救命索発射銃の代替
3. 情報収集：状況把握
 - 周辺状況の把握：現場地図作成、モニタリング、偵察
4. 災害対応：状況把握
 - 被害状況の把握：被害範囲規模、二次災害発生可能性の把握

消防庁（2018）消防防災分野における無人航空機の活用の手引き

有人航空機のドローンへの置き換えは困難

	有人航空機（BK-117C-2）	無人航空機（DJI Inspire 2）
機体の大きさ	全長13.03 m	対角0.6 m
最大離陸重量	3,585 kg	4.25 kg
ダウンウォッシュ	極めて強い	強い送風機程度
近傍での騒音	会話が困難、窓が揺れる	草刈り機程度
最低巡航高度	地表から300m（都市部）	第三者等から30m以上離れた高度
任務可能時間	120分程度	20分程度（無風時）
最大搭乗者数	10名（操縦士含む）	0名（人間の搭乗は不可）
運航コスト（参考）	約80万円/時間 （チャーター機の場合）	0円（バッテリー充電のみ） （原価償却費等を考慮しない）
機体価格（本体）	約10億円	約40万円
映像の分解能（※1）	24.3 cm/画素 （高度300 m、2/3型FHD※2）	1.1 cm/画素 （高度50 m、MFT20Mpx ※3）

※1 画角72度（35 mm判換算焦点距離30 mm）として計算

※2 2/3型FHD：2/3型素子フルハイビジョン

※3 MFT20Mpx:マイクロフォーサーズCMOS2000万画素)

有人航空機のドローンへの置き換えは困難

有人航空機：汎用的

- ホイスト降下等による救助
- 救急搬送
- 林野火災等の消火
- ヘリテレによる映像伝送

有人航空機とは異なる
ドローンに適した戦術
が必要

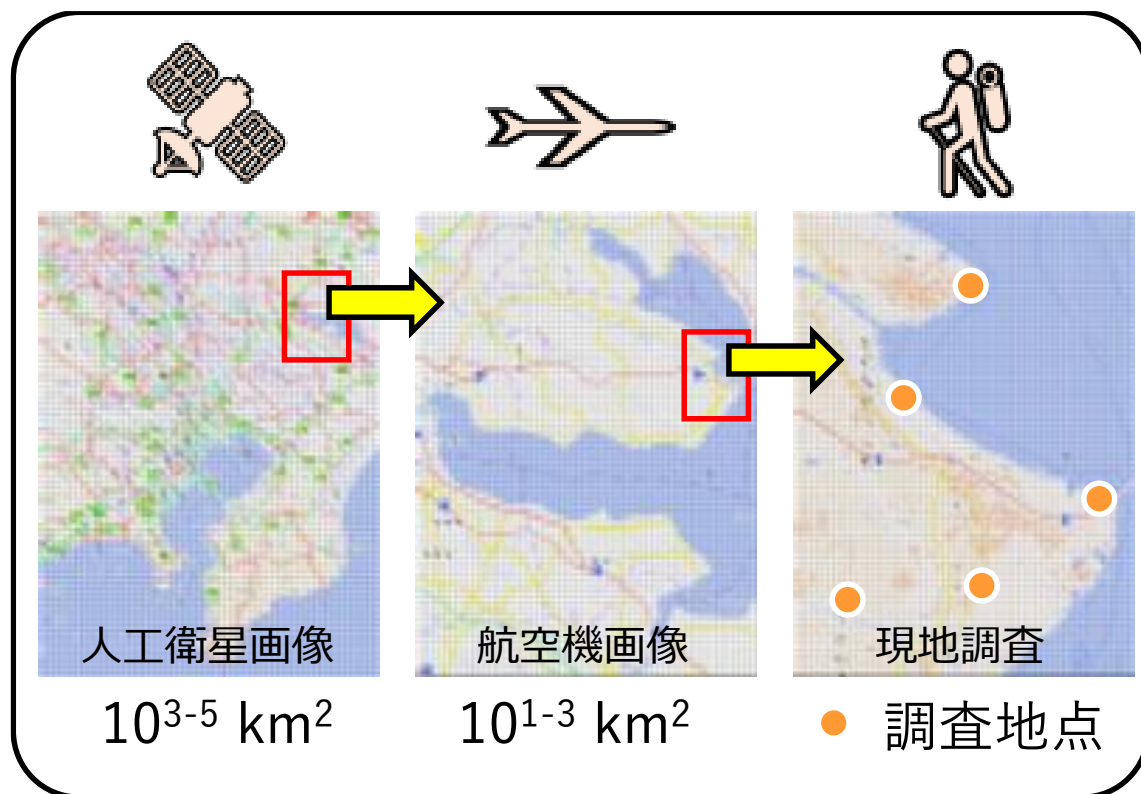
無人航空機：専用的

- 撮影用機材：高分解能な映像・画像による情報収集
- 輸送用機材：軽量の物体の輸送
- 測量用機材：レーザー測量による地表面の計測
- 無人ロボットとしての特性
 - ハイリスクエリアでの活動
 - 夜間や有人機が飛行できない条件下での活動

既存の災害情報の取得手法の性質

空間分解能とコストのギャップ

- 人工衛星や航空機による画像撮影 (ex. 地理院地図)
- 現地調査・現場確認



	空間分解能	コスト
	メートル	
	サブメートル	
	—	

ドローンの性質（メリット）

1. 適時性（＝迅速性、機動性）
2. 連続性（＝時間的変化が分かる情報）
3. 高分解能性
4. 三次元情報
5. 非代替性

		対象範囲	空間分解能	コスト
人工衛星		$10^3 \sim 5 \text{ km}^2$	メートル	
航空機		$10^1 \sim 3 \text{ km}^2$	サブ メートル	
ドローン		$10^{-1} \sim 1 \text{ km}^2$	センチメートル	
現地調査		アクセス 可能範囲	—	

ドローン：安い・速い・よく見える

迅速・高機動な局所、詳細情報の取得ツール

災害対応力 = 情報力 × 部隊力

環境の激変：人員・予算削減、情報の爆発的増大

- 部隊力：リソースが限られる

近年の人口減少、予算漸減の傾向

戦術：数量中心から能力中心への転換

- **情報力**：ドローン活用ソリューションによる高度化

消耗活動から効率中心の活動へ

➤ 情報が効率的な活動をもたらす（情報活動ドローン）

➤ 機械が人の代わりに働く（作業用ドローン）

1. 防災は、明日と未来の誰かのために

ドローンに求められる役割

災害情報の第四階層（個々の現場）における新戦術

1. 情報活動

- 迅速、局所的、詳細な情報取得
- 確実性の高い俯瞰的情報による意思決定支援

2. 作業

- 重量物搬送など、隊員の負荷を軽減する作業

➤数こそ、パワー

- 現場の数が多い：運用者の育成、安く運用しやすい機体の配備

➤情報活動には、知識教育が要

- 「ピアノと演奏者」、「レントゲン写真と医者」

(参考) ドローンの活用の評価

3つの評価軸：もしも、ドローンがなかったら？

1. 時間の短縮

例) 迅速で効率的な搜索救助

- 生存救助率の向上
- すみやかな復旧、復興フェイズへの移行

例) 道路被害の把握

- 道路啓開の優先順位付け、行政・住民への周知
- 早期の生活再建への道筋

2. コストの削減

3. 安全の向上

例) 崖の転落者検索

- 隊員の安全確保
- 安全確保の結果、対応時間が長くなる場合もありうる



2. 形だけの活用体制

機能するのか疑わしい「災害協定」

災害直後、災害現場に現れた知らないドローン事業者。飛ばさせてくれと懇願され、消防防災ヘリの空域退出を要請された。隊長のあなたは、どうする？

現実問題として、災害直後の生存確率が高い時間帯に、

- 成果不明な「実験的社会貢献」は受け入れられない
- 平時に使ったことのないツールは使えない

2. 形だけの活用体制

根源的問題は情報活用プロセスの欠如 ▶▶

【協定事業者】多くが販売店やドローンスクール

- ・インテリジェンスや現場の意思決定は所掌外

【現場従事者】現場の意思決定者

- ・現在の現場従事者は空間情報に馴染みがない
- ・経験のない情報を、教育なしに使わせることは非現実的

【課題】役割分担・連携・知識教育

- ・協定事業者の役割：情報の取得
- ・現場従事者の役割：空間情報の科学的な解釈
- ・連携：日ごろから「顔の見えない関係」では現場での実効性が低い

1. 生情報の取得



2. 地図化



3. インテリジェンス化



4. 意思決定

「判読」

空中写真・衛星画像
リモートセンシング

「どう使う」から「なぜ使う」へ

ドローンに求められる二つの役割

1. 情報活動

生情報から「使える情報」へ変換するプロセスが必要

➤ インテリジェンス：意思決定に役立つ情報

2. 作業

物資搬送、音声伝達、照明、通信中継などの現場作業補助

実用的な運航体制の構築：操縦者＋飛行計画＋情報解釈

- それはドローンで見えるのか？
 - どんな目的で、何の情報を収集するのか？
 - どんな飛行計画で、誰が飛行させるのか？
 - 誰が、どうやって情報を解釈するのか？
- 科学的：因果関係（原因と結果）を踏まえた情報の読み取り（判読）

3. インテリジェンス

科学的な理解と解釈が生む「**知の戦力**」

共通理解の浸透：操縦技能だけでは、ドローンは活用できない

➤論理的に説明できますか？

【運航】点検の各工程における航空工学的な意味は？

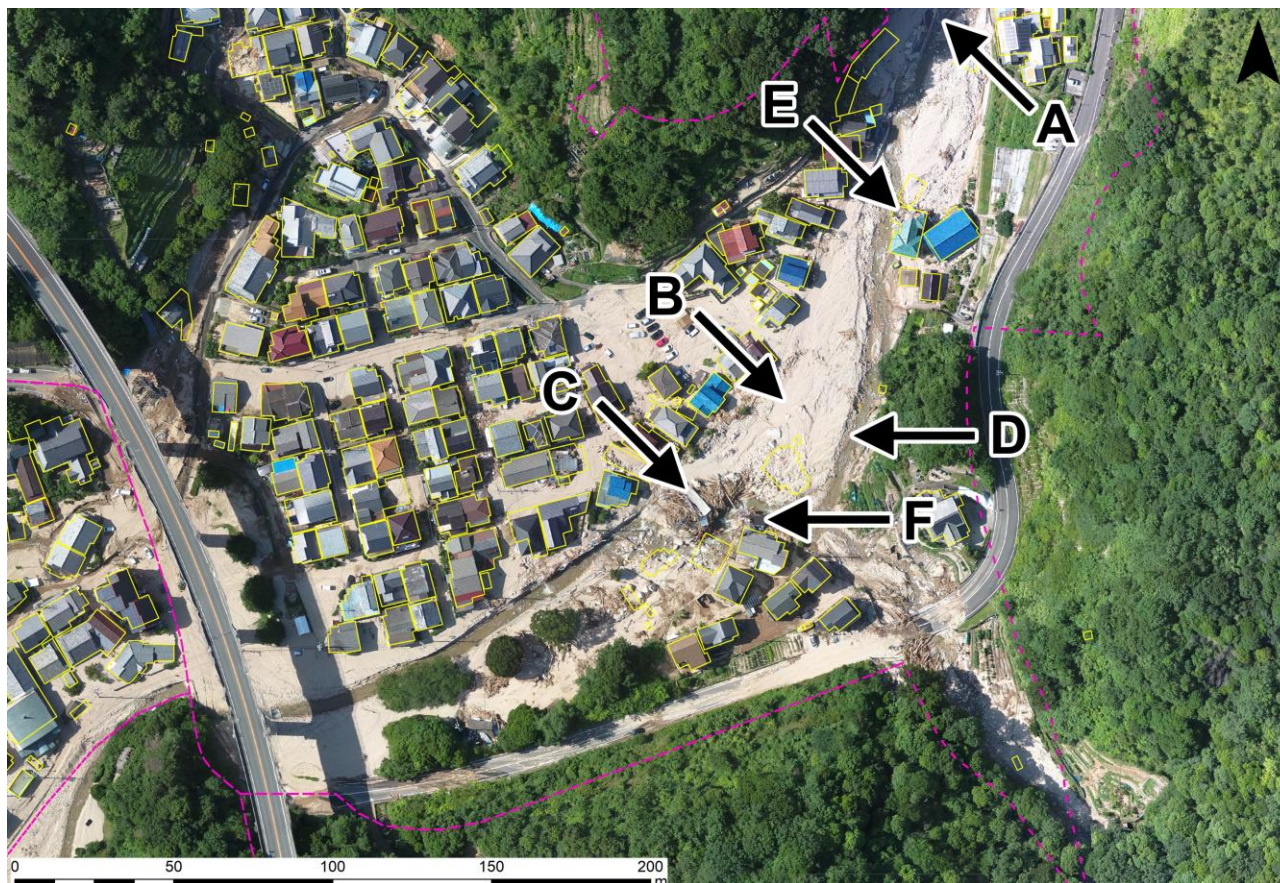
【ミッション】デジタル画像における見えるものの限界とは？

【ミッション】物体の写り方に関するスペクトルに応じた特性とは？

【災害対応】着眼点として、土石流で被害が起きやすい場所は？

➤勘と経験よりも、科学的知識による解釈のほうが勝率は高い

科学的な情報の解釈：判読



写真から読み取れる土砂の流れ止まりの位置の推定

土石流の堆積物は橋梁Cの上流側でサイズが大きく、下流側では泥状で細粒。この付近で流速の低下が生じており、土砂が溜まりやすい。流されてきたものはCの上流側に残されている可能性が高い

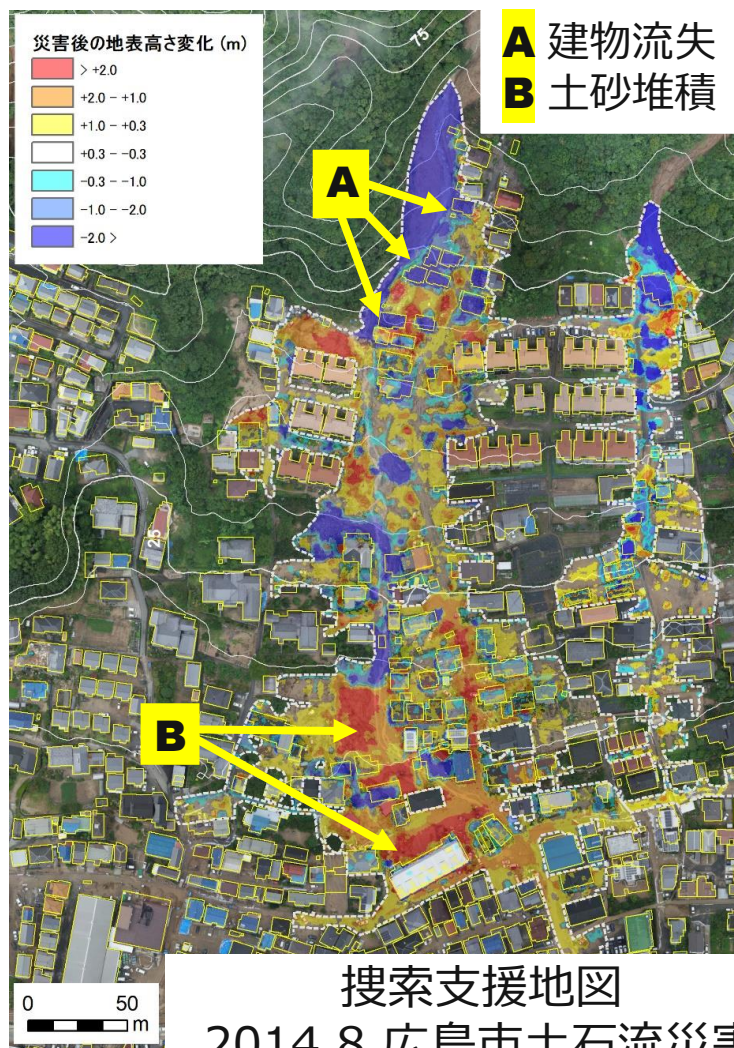
A：既存の小河川、B：埋積された小河川、C：小さな橋梁が巨礫や流木を捕捉し、小河川の埋積が進んだ、D：新たに形成された流路、E：新たな流路上にある家屋の一部が破壊された
F：橋梁（C）を回り込んだ土石流が、ここでも家屋の一角を破壊した

生きる、を支える科学技術



防災科研

科学的な情報の解釈



情報の解釈に求められる基礎科学

1. 空間情報科学：分解能と識別レベル
2. 自然災害のメカニズム：情報収集の着眼点（判読）

土砂災害の情報解釈の例

A) 地形変化の着眼点（例）

- 土石流の流下経路
- 小河川の位置の変化（災害前写真と比較）
- 小さな橋、暗渠のある位置
 - 上流側に土砂等をトラップしやすい
- 流下した土砂のサイズの分布
 - 大きな岩は大きな力で流される
 - 上流側ほどサイズは大きい

B) 搜索地点の候補（例）

- 谷出口から200m以内
- 土石流の主流路沿い
- 流失、流下した住宅の原位置
- 土砂が流れ止まった地点・溜まりやすい場所

科学的な情報の解釈：識別レベル

ジョンソン基準（1958）による識別レベル

1. 検知不可（物体を発見することができない）：－
2. 検知（物体が存在していることが分かる）：2画素 $\pm$ 0.5画素
3. 向き（物体の向きが分かる）：2.8画素 $\pm$ 0.7画素
4. 認識（物体が何だかわかる）：8.0画素 $\pm$ 1.6画素
5. 識別（物体の個々を区別できる）：12.8画素 $\pm$ 3.0画素

※ターゲットとなる物体とその背景とのコントラストが大きいことを条件とする

認識レベル	必要画素
検知	2画素 $\pm$ 0.5画素
認識	8.0画素 $\pm$ 1.6画素
識別	12.8画素 $\pm$ 3.0画素

左：人間の識別レベルは？
右：ペットボトルは見える？



分解能5.0 cm



分解能3.3 cm

4. 災害対応におけるドローンの活用

活用の五段階（難易度）

Lv. 1 直上からの状況把握

Lv. 2 遠隔地の状況把握

Lv. 3 現場地図の作成

Lv. 4 既存情報の重ね合わせ

Lv. 5 現場情報の統合



内山 (2018) 災害におけるドローンの活用. 月刊消防, 11月号, pp.1-7.

4. 災害対応におけるドローンの活用

活用の五段階（難易度）

Lv. 1 直上からの状況把握

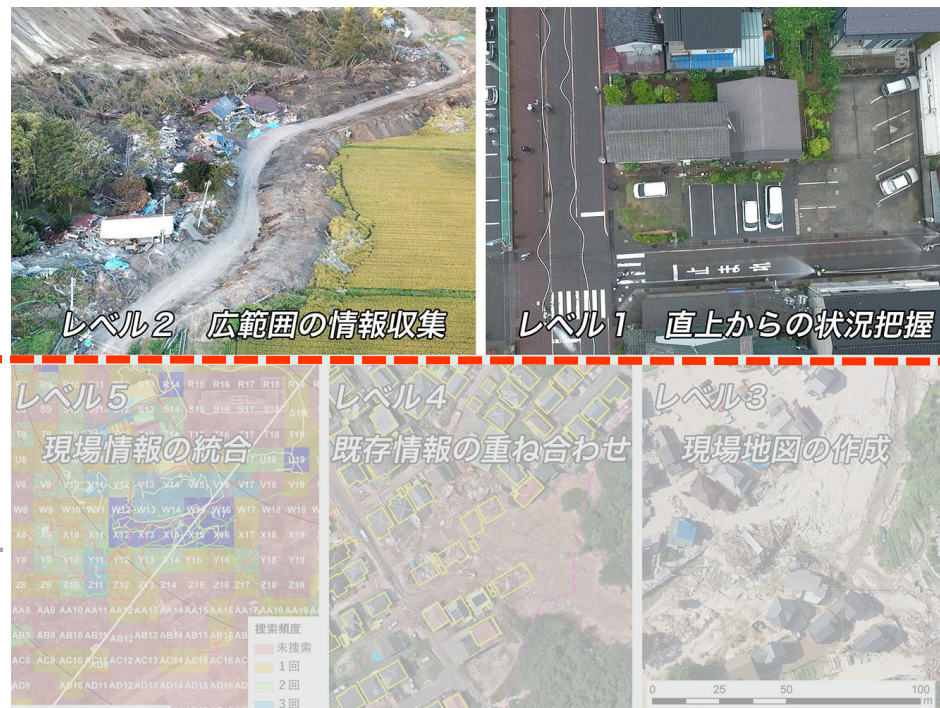
Lv. 2 遠隔地の状況把握

Lv. 3 現場地図の作成

Lv. 4 手の届かない場所から

Lv. 5 撮影するロボット

「空飛ぶカメラ」



内山 (2018) 災害におけるドローンの活用. 月刊消防, 11月号, pp.1-7.

Lv. 1 直上からの状況把握：地図的映像

リアルタイムに書き換わる地図

1. カメラを真下に
2. 画面の上を北に

「私の偉大な才能であり、指揮官として私を際立たせたものは、全体像をはっきりと見る能力である」 ナポレオン・ボナパルト

- ✓ 情報価値の理解
- ✓ 映像技術の理解



斜め視点は自己位置把握が難しい



新潟県糸魚川市火災防ぎょ訓練（平成29年6月）撮影：防災科学技術研究所

生きる、を支える科学技術



防災科研

Lv. 2 遠隔地の状況把握

活用例：海上の要救助者

- 風を読む技能（気象、地形）

- ✓ 救助率の向上



2011年東北地方太平洋沖地震の津波被害 撮影：国土地理院 オルソ画像作成：防災科学技術研究所

※この例は、ドローンで撮影した写真ではありません。
「もしもこの時ドローンがあれば」という想定です

4. 災害対応におけるドローンの活用

活用の五段階（難易度）

Lv. 1 直上からの状況把握

Lv. 2 遠隔地の状況把握

Lv. 3 現場地図の作成

Lv. 4 既存情報の重ね合わせ

Lv. 5 現場情報の統合

「空飛ぶカメラ」に
プラスアルファの技能



内山 (2018) 災害におけるドローンの活用. 月刊消防, 11月号, pp.1-7.

Lv. 3 現場地図の作成

プラスアルファ（必要な技能）

- 写真測量（自動化）
- 画像解釈（人間）
- ✓ インテリジェンス化

災害前の様子（地理院地図）



生きる、を支える科学技術



防災科研

2018年7月豪雨による広島県の土石流災害 撮影・オルソ画像作成：防災科学技術研究所

Lv. 4 既存情報の重ね合わせ

プラスアルファ（必要な技能）

- 地理空間情報（GIS）

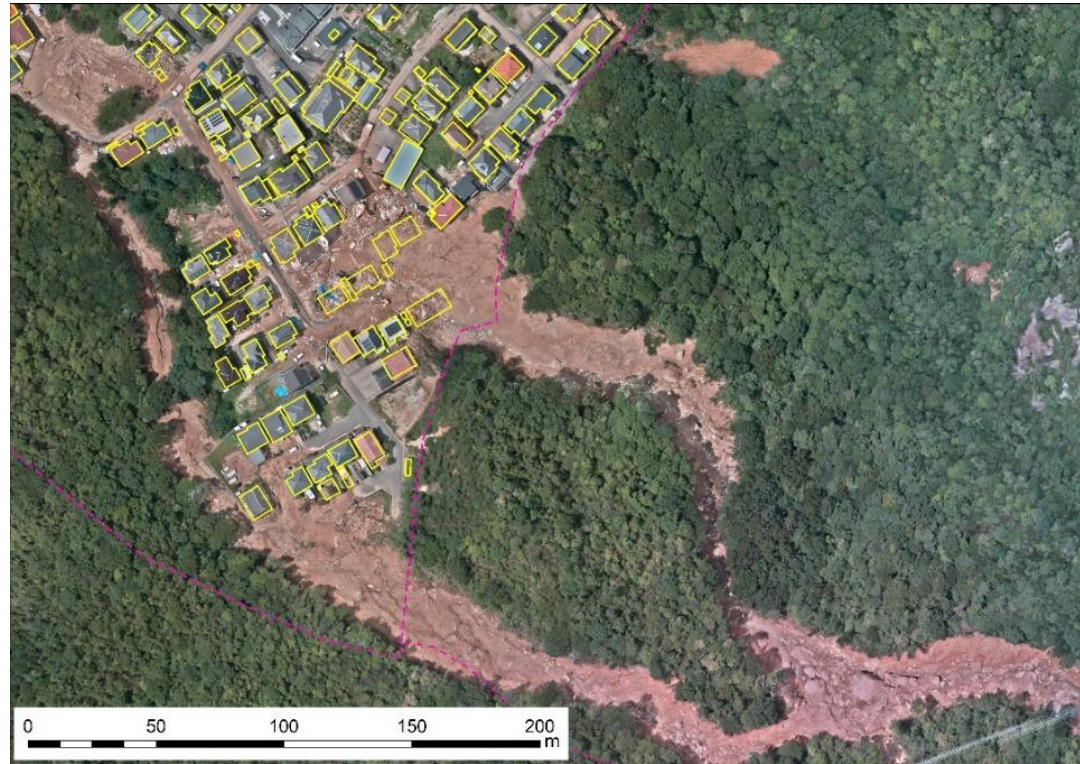
- ✓被災家屋を迅速に特定

災害後のオルソ画像に、住宅
形状のデータを重ねるだけで
被災家屋の位置・数が分かる

- ✓搜索支援地図※

※内山・他（2014）平成26年8月豪雨による広島土石
流災害における空撮写真を用いた搜索支援地図の作成.

CSIS DAYS 2014優秀研究発表賞



2018年7月豪雨による広島県の土石流災害の被害
撮影・オルソ画像作成：防災科学技術研究所

Lv. 5 現場情報の統合

プラスアルファ（必要な技能）

- 「現場の動き」のデータ化（空間モデリング）

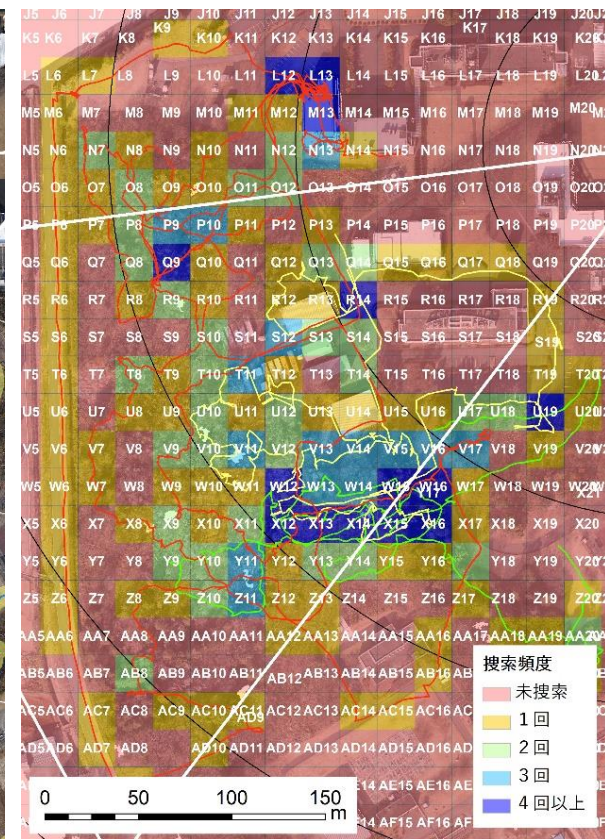
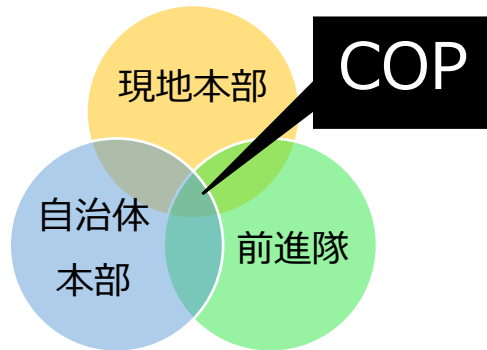
- ✓ 搜索実績（ルート）

搜索漏れの可視化

次の搜索地点の明確化

- ✓ 共通状況図（COP）

Common Operational Picture



生きる、を支える科学技術



防災科研

ドローン地図を活用した搜索活動の可視化と効率化（防災科学技術研究所）

4. 災害対応におけるドローンの活用

活用の五段階（難易度）

Lv. 1 直上からの状況把握

Lv. 2 遠隔地の状況把握

Lv. 3 現場地図の作成

Lv. 4 既存情報の重ね合わせ

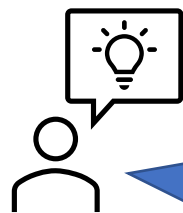
Lv. 5 現場情報の統合

レベルアップの壁は情報の科学的な解釈

ドローンは自動ではやってくれない😞



内山 (2018) 災害におけるドローンの活用. 月刊消防, 11月号, pp.1-7.



災害時に実用的にドローンを活用するには？

「**活用の日常化**」が大切。使わなければ、わからない。

➤ 訓練・火災出場時、Lv. 1を常時運用する

生きる、を支える科学技術



防災科研

4. 災害対応におけるドローンの活用

「飛ばせる、その先へ」知識体系化の試み

- メリットを活かした新戦術の構築が必須
機体を導入するだけでは成果は生まれない
ドローンスクールは「自動車教習所」
ドローン技術だけで課題解決しようとするのは誤り
- ドローンを駆使した情報戦術の構築に向けて
ドローンが「自動でやってくれる」未来は、まだ先
3本の知識の柱：安全運航（航空工学）・空間情報科学・情報解釈（自然科学）

新版 必携 ドローン活用ガイド —災害対応実践編—

防災科学技術研究所 内山庄一郎 著

情報活用能力を構成する三要素とその実装

災害対応におけるドローンの位置付け

情報活用の実践力：なぜドローンを飛ばすのか？

情報収集手段の理解：それはドローンで見えるのか？

情報リテラシーの向上：広域災害にいかに関与していくか

安全かつ高度なドローン運航のための基礎技術

インテリジェンス抽出のための画像判読

オルソ画像作成の流れ

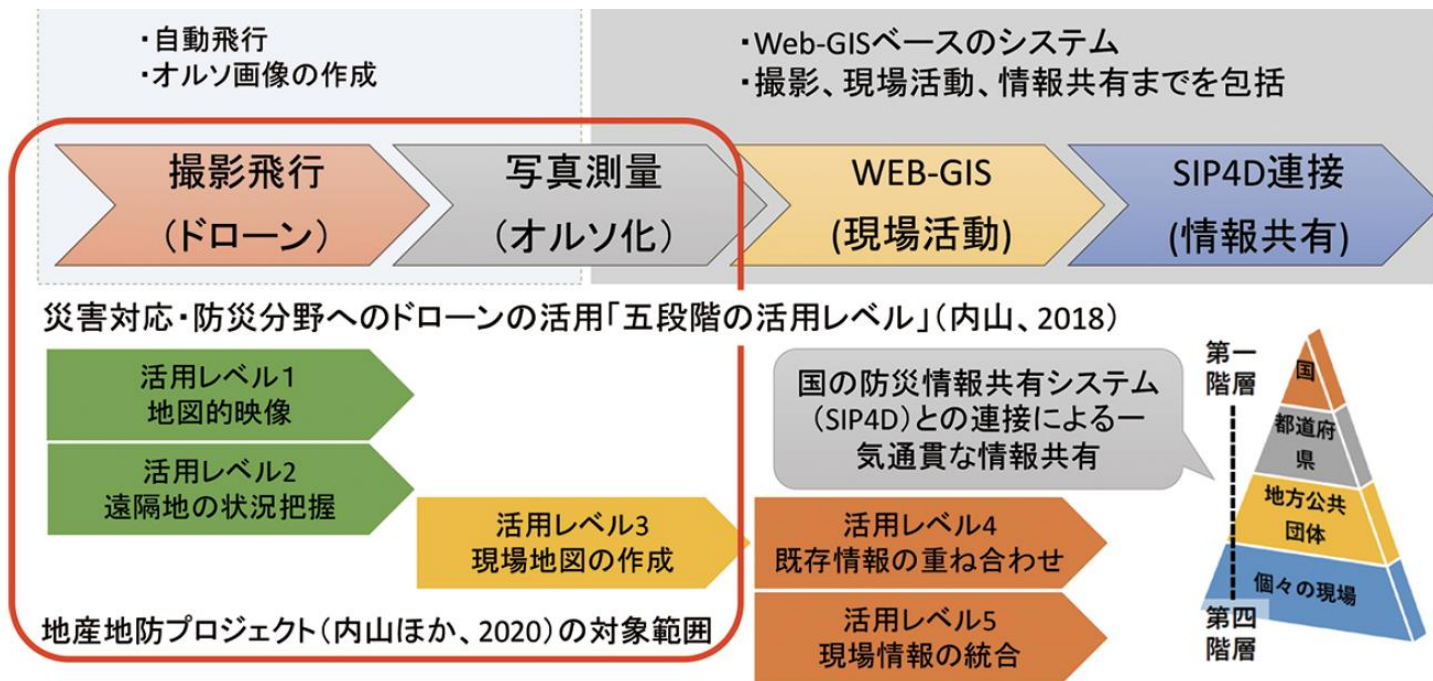


東京法令出版

ドローン災害対応システムGEORIS

ドローンによる情報活動の理論と実務体系

1. 科学的な情報解釈など、あらゆる災害への適応性を高める知識教育
 2. マッピングに関する専門技術をシームレスに統合した情報システム
- 2021年度、多地域でのユーザーレベル実証を完了し、実用化を目指す



5. テクノロジーからソリューションへ

TRL: 技術成熟度レベル (例)



生きる、を支える科学技術



防災科研

ソリューションの要件

災害対応ソリューション（TRL: 7～9）



前提条件：目的・仕様、ユーザーレベル、実フィールド、資源限定

5. テクノロジーからソリューションへ

TRL 4-6：機械技術（テクノロジー）

- 何かをする手段（ex. 写真を撮る）であり、目的ではない
- 技術が高度であればみんな使う、とは限らない
 - 技術への過大な期待：ドローン幻想、技術オリエンテッド思考

TRL 7-9：ソリューション

- 課題の解決（目的）：災害対応の高度化
高度化とは：効率化、迅速化、低コスト化、安全向上…
- 他のプロセス、知識、スキルとの組み合わせで構成される

「訓練」と「知識教育」の違い

訓練：予期されたイベント	知識教育：予期しないイベント
スキルを高める	知識を得る
自信を付ける	状況把握の確度を高める
手法を改善する	理解を高める
目的：専門技能に熟練する	目的：柔軟性・適応性を高める
教授：よりうまくやる方法	教授：正しく状況を認識する方法
習得：比較的容易	習得：難しく時間がかかる

- 訓練と知識教育は同義語ではなく、その目的や性質が異なる
- 現場活動に求められるスキルは無数にあるが、これらは比較的簡単に教え、学ぶことができる
- 一方で、知識とそれに基づく状況認識ははるかに複雑であり、要因、影響、それらの相互作用の理解まで求められる（ex. 英単語を覚えるだけでは使えない）

戦略の本質

「戦略の本質は、何をやらないかを選択すること」

マイケル・ポーター（経済学者）

混乱の中では「やらないこと」を増やさなければ、効率は上がらない

- 例）土砂災害後の検索（搜索）活動

時間がかかる：ガレキの撤去、土砂の除去、活動範囲の拡大...

- 情報戦術「高精度な要救助者の位置推定（仮）」の適用

活動の効率化：不要な活動を削減・回避し、迅速に要求救助者を発見

- 知識教育が、情報力向上のカギ

勘と経験の情報活動は不安定・不確実・非効率

情報力の向上が拓く未来

活動容量の増大
1ユニットの生産性

課題と可能性の片りん：
1995年阪神・淡路大震災での
情報断絶と現場活動の混乱※



- A) Platform-Centric: 知り、下命し、対応させる
ユニットは単一の役割を与えられ、制御される
- B) Network-Centric: 共有され、**総観場**を得て、潜在的
タスクが生じる
指揮官の拒否権を前提とし、ユニットの行動裁量が生じる

情報力
の向上

状況の
共有

情報
共有

単独情
報活動

任務遂行能力
単独任務 任務連携 自己同期

		B 4
3		
1	2	
A 0		

任務遂行能力の成熟過程
Department of Defense (2001)

飛ばせる、その先へ

1. 防災は、明日と未来の誰かのために

個々人が長期ビジョンを持つこと。大規模災害を意識したドローン活用

2. 形だけの活用体制

「どう使う」から「なぜ使う」への転換

3. インテリジェンス

共通理解の浸透が必要：「知の戦力」は科学的な解釈が生む

4. 災害対応におけるドローンの活用

五段階の活用レベルとGEORIS構想

適応性を高める知識教育と、マッピング技術を統合した情報システム

5. テクノロジーからソリューションへ

「迅速性・適応性・安全性と信頼性」がもたらす、情報力の向上が拓く未来

生きる、を支える科学技術

SCIENCE FOR RESILIENCE



防災科研

内山庄一郎 (2020) 自然災害におけるドローン活用戦略. 一般財団法人日本防火・危機管理促進協会, 令和2年度 第2回地方公共団体の危機管理に関する研究会.