

現地レポート：関東大震災から100年後の耐震技術

# 地震津波被害の初動調査における無人機活用に向けて

笠井良彦・川尻耕成

## 1. はじめに

南海トラフ巨大地震発生後は、迅速かつ的確に管内の被害状況を把握し、災害オペレーションに必要な情報を収集する必要があるため、初動調査を効率化する技術の開発が求められている。初動調査時は衛星等を活用した広域的被害状況把握から、道路啓開計画に対応するための無人機（UAV等）の局地的調査まで様々な手法が考えられる。そこで、大規模災害時の被災シナリオを調査し、一般的に広く用いられている計測技術を中心に計測精度や運用面等、多角的な視点から調査を行い、各計測技術の初動調査への適用性について検討した。特に、初動段階では多数の人員確保が難しいため、少人数で調査体制を組むことができるUAV等に着眼し、自動運転での運用を見据えた初動調査効率化のための検討を行った。具体的には、UAV等の活用が考えられる初動調査項目について、詳細な計測手法を検討した。

## 2. 各計測技術の災害対応への適用性調査

災害対応への計測技術の利用は表-1の通り、概ね計測対象の規模により使い分けられている。「光学衛星」「SAR衛星」「航空写真」「航空レーザ」は広域の被害状況把握に優れている。一方で、画像等取得データの粒度が粗く詳細な情報分析に

表-1 各計測技術の特徴及び活用が期待される場面

計測技術	計測対象面積	解像度点密度	規模感	可搬性機動性	運用の容易性	各技術が効果的に作用する場面 また、その活用が期待される場面
人工衛星(光学)	100~1,000km <sup>2</sup> 程度	数10cm~数m	複数県をまたがる広域	×	×	広域における被災範囲の把握
人工衛星(SAR)	100~1,000km <sup>2</sup> 程度	数m~数10m	複数県をまたがる広域	×	×	広域における被災範囲の把握
航空機(写真)	1~100km <sup>2</sup> 程度	数cm~20cm	単一県	×	×	中域における被災状況の把握
航空機(レーザ)	0.5~50km <sup>2</sup> 程度	数点~数10点/m <sup>2</sup>	単一県	×	×	中域における被災形状、被災量の把握
MMS	~延長10km 程度	高密度点群 (四方は疎)	道路・地方周辺	△	×	狭域(道路)における被災状況、被災形状、被災量の把握
地上レーザ	~0.1km <sup>2</sup> 程度	高密度点群 (四方は疎)	局所的な地形・管理施設	○	×	狭域(定点)における被災形状、被災量の把握
CCTV	設置されている箇所から道路や河川の状況を俯瞰	参考値として センサ解像度 1,820×1,080 ピクセル	CCTV周辺	×	×	・狭域(定点)における被災状況の把握 ・広域、中域の被災状況把握のうち、特に被害が大きい箇所等の局所的な把握 ・直轄道路や河川沿いに配置しているため、このネットワークを利用し、面的な被災状況把握
UAV(写真)	~1km <sup>2</sup> 程度	数cm	局所的な地形・管理施設	○	○	・狭域における被災状況の把握 ・広域、中域の被災状況把握のうち、特に被害が大きい箇所等の局所的な把握
UAV(レーザ)	~0.5km <sup>2</sup> 程度	数100点/m <sup>2</sup>	局所的な地形・管理施設	○	△	・狭域における被災形状、被災量の把握 ・広域、中域の被災形状、被災量把握のうち特に被害が大きい箇所等の局所的な把握

Toward the Use of UAVs in Initial Survey of Earthquake and Tsunami Damage

は向いていない。「MMS（モービルマッピングシステム）」「地上レーザ」「CCTV」はある特定域の被害状況把握に優れている。一方で、これらの手法で広域の被害状況を把握するのは時間的、物理的な観点から限定的である。「UAV写真」「UAVレーザ」も局所的な被害状況把握に向いており、全ての機体でないにせよ、運用の際の汎用性、容易性が高いことから初動調査の効率化に資すると考え、本検討の対象とした。

## 3. 無人機器（UAV等）の能力と適用の検討

UAVの機体や搭載する計測機器について、一般的な「小型機」、測量業務で用いられる「産業機」とその発展型「全天候機」「ハイブリッド機」及び「固定翼機」に分類した。計測機器は「広角カメラ」「望遠カメラ」「近赤外線レーザスキャナ」「グリーンレーザスキャナ」とした。調査結果を踏まえ、機体及び計測機器の比較表を作成し、それぞれのメリット及びデメリットをまとめた(表-2、表-3)。

表-2 機体の性能及び特徴比較（黄色が有効な特徴）

項目	小型機	産業機	全天候機	ハイブリッド機	固定翼機
飛行時間	20~40分	10~30分	20~50分	30分~2時間	40分~7時間
飛行速度	△	△	△	△	○
重量	○	△	△	△	△
扱いやすさ	○	△	△	△	×
搭載可能重量	×	○	○	○	○
搭載可能機器	既装備のカメラのみ	カメラ、レーザスキャナ、物資輸送等	カメラ、レーザスキャナ、物資輸送等	カメラ、レーザスキャナ、物資輸送等	カメラ
ホバリング機能	○	○	○	○	△
耐風能力	△	△	○	△	△
防水能力	△	△	○	△	△

表-3 計測機器の性能・特徴比較(黄色が有効な特徴)

項目	広角カメラ	望遠カメラ	近赤外線レーザ	グリーンレーザ
取得データ	写真、動画	写真、動画	三次元点群	三次元点群
操作の容易性	○	○	△	△
遠方の視認性	△	○	×	×
視認範囲の広さ	○	×	△	△
対象の形状認識	△	△	○	○
対象の容量把握	△	×	○	○
濡れた、もしくは水部の対象把握	△	△	×	○

各機体・機器ともに性能や特徴は一長一短あり、目的や対象に応じた組み合わせが必要である。デジタルカメラは被害状況を可視的にわかりやすく把握するのに有効であり、レーザスキャナは被害量や被害形状を三次元的に把握するのに有効である。したがって、災害時の場合、現場での被害状況の把握には降雨に強い「全天候機」を使用し、視覚的な情報を得るために「広角カメラ若しくは望遠カメラ」を組み合わせ、浸水被害形状や被害量を把握するためには、水中や濡れた地形を計測できる「グリーンレーザスキャナ」の組み合わせが有効であると考えた(図-1)。



図-1 全天候機に搭載したグリーンレーザスキャナ

#### 4. 自動運用の検討

令和4年12月に改正航空法が施行され、レベル4における自動運用が可能となったことから今回、手動運用から発災をトリガーとする自動運用の実現に向け、技術面及び法的観点から検討を行った。自動運用で必要となる技術要素を「悪天候での飛行」「長距離飛行」「長時間飛行」「リアルタイム通信」の4つと捉え、それぞれの実現状況を確認したので以下に整理する。

- ・降雨時等、悪天候での飛行については、全天候機により実現しているが、台風等の荒天時に飛行させることは難しい。
- ・長距離飛行については、LTE機により実現しているが、送信機通信が現状の2.4GHz通信の機体が多く、伝送距離の関係から災害時の利用は難しい。
- ・長時間飛行については、小型の発電機を搭載し、バッテリーに継続して給電するハイブリッド機の開発が進展しており、非接触充電機能の研究も進められている。
- ・リアルタイム通信については、ローカル5G等の通信手段を利用した試行が行われている。

レベル4による飛行を現場適用するには課題が

依然として多い。また、航空法の観点からは、災害時に飛行が必要となる「レベル4飛行(有人地帯での目視外飛行)」、「緊急用務空域における飛行」等を実施する場合、どのような飛行手続きが必要となるかを調査した。いずれの制限下でも事前事後問わず国土交通大臣へ何らかの申請が必要であるが、特に緊急用務空域飛行への手続きについては、申請相手方や対応窓口等、通常と異なる部分もあるため災害時の申請において迅速な対応を可能とするためには、平時から必要な措置について検討しておくことが必要である。

#### 5. 初動調査に求められる条件整理

前段までのUAVの活用範囲の検討を踏まえ、こういった初動調査への活用が可能かを整理するため、被災シナリオを設定した。使用した被災シナリオ及び対応活動シナリオは、中部地方整備局等が作成した「南海トラフ巨大地震中部ブロック対策計画」を基にした。計画で定められている対応すべき7テーマに対し、初動調査の対象となる場所・施設を明確化し、各テーマの対象施設や被害箇所に対する「調査目的」「調査対象形状」「調

表-4 初動調査に求められる条件整理結果

対応活動	必要とされる計測技術を活用した初動活動内容	主な調査対象	初動調査により把握したい内容
テーマ① 短時間で押し寄せる巨大な津波からの避難を全力で支える。	※主に平時の活動となる	-	-
テーマ② 数十万人の利用者を乗せる鉄道や航空機等の利用の安全を確保する。	JR東日本・東海、名古屋鉄道空港線、道路等施設の被害状況把握、空港島の孤立状況把握	局所： 駅(点)、鉄道路線(線)、空港(面)、空港島(面)、空港島アクセス路(線)、港湾施設(点)、港湾アクセス道路の個別被害状況(点)； 広域： 道路路線(線)、港湾網(線)、鉄道路線網(線)全体の寸断・途絶範囲	・被害位置 ・被害状況 ・利用者の安否
テーマ③ 甚大かつ広範囲の被害に対して、被災地の情報を迅速・正確に収集・共有し、応急活動や避難につなげる。	斜面崩壊地、地盤沈下状況、浸水状況など各種計測、観測機器による被災状況の把握と、把握した被災情報の共有	広域： 斜面崩壊範囲(面)、地盤沈下範囲(面)、津波浸水範囲(面)	・被害位置 ・被害状況 ・浸水量 ・被害状況共有の進捗
テーマ④ 無数に発生する被災地に対して、総合的に全力を挙げて進出ルートを確保し、救助活動を進める。	交通網としての寸断箇所や集落孤立状況把握(伊豆半島/東北州地域では沿岸部や山間部道路の不達のため、橋梁崩壊、浸水範囲、斜面崩壊、道路等、伊勢湾では海上輸送機能が寸断のため津波漂流がけき、岸壁・荷役機械の被災等)、またこれらの解消とルート確保活動	局所： 橋梁崩壊箇所(点)、斜面崩壊地(点)、道路崩壊箇所(点)、岸壁・荷役等港湾施設被害(点)； 広域： 集落孤立状況(線)、交通網影響範囲(線)	・総合的調査対象位置 ・崩壊・破壊状況 ・浸水
テーマ⑤ 被害のさらなる拡大を全力でくい止める。	各種被害状況(伊勢湾付近等の臨海コンビナートは津波がけき、火災危険性、火力発電所被害、山間部は河道閉塞や道路閉塞、河川即ち堤防決壊、沈下箇所)	局所： 臨海コンビナート被害(点)、火力発電施設等危険物取扱施設被害(点)、河道閉塞箇所(点)、道路閉塞箇所(点)、堤防決壊・沈下箇所(線)； 広域： 油等流出範囲(面)、河道閉塞範囲(面)、道路閉塞範囲(面)、堤防決壊(線)、沈下範囲(面)	・被害位置 ・被害状況 ・被災量
テーマ⑥ 民間事業者等も機動員し、数千人の被災者・避難者や被災した自治体を全力で支援する。	市町村での情報収集回線となることが想定されており、自治体が必要となる上水道、下水道インフラ被害など各種被害状況情報の支援活動	局所： 各種被害状況等； 広域： 被害全体概況等	・支援を必要とする場所 ・必要とされている支援内容 ・必要とされている支援の量
テーマ⑦ 事前の備えも含めて被害の長期化を防ぎ、1日も早い生活・経済の復興につなげる。	早期復旧に向けた状況把握のための調査活動(浸水被害状況、港湾流出物把握等)を行うこととなっている。	広域： 浸水範囲(面)、港湾流出物範囲(面)	・被害状況 ・復興すべき項目の確認と優先順位設定

査範囲」に着目し整理した（表-4）。

## 6. 被災状況調査と無人機器（UAV等）の活用方法の検討

初動調査に求められる条件整理結果に対し、適用できる計測技術及びその技術による調査内容を整理した。1つの初動調査に対し、複数の計測技術を適用した理由は、どの技術も常に被害状況を捉えられるわけではなく、機器特性や天候等により計測機会が制限されるためである。

今回は初動調査7テーマのうち、国土交通省が最優先で実施すべきテーマを総合啓開と捉え、このために必要な初動調査は「浸水区域の調査」「啓開対象施設の調査」「排水処理に係る施設の調査」「二次被害防止のための監視が必要な施設調査」の4つに分類整理した。各調査に対し、今回対象となる管理施設を設定した（表-5）。

表-5 各初動調査で対象とする管理施設

	浸水区域の調査	啓開対象施設の調査	排水処理に係る施設の調査	二次被害防止のための監視が必要な施設調査
道路	全管理施設及び全地形	道路敷地		法面、盛土、擁壁、道路付属物
河川		河川敷地、管理用道路	堤防、排水機場	堤防、河川構造物(橋門・樋管、水門、堰、排水機場等)
海岸		航路、管理用道路	防潮堤、排水機場	防潮堤、消波工、消波堤、離岸堤
港湾		泊地、船だまり、港湾道路	防潮堤	防潮堤、防波堤、護岸、岸壁
上下水道インフラ			マンホール	マンホール

各調査は、被災対策におけるフェーズの進行を踏まえ、時間の経過とともに把握したい被害状況の内容が変化するものと考え、時間軸で見た場合の調査内容も整理した（表-6）。これにより、同じ対象施設でも災害後の経過時間に応じた把握内容の変化から調査手法の再設定が必要であることがわかる。例えば、「浸水区域の調査」において発災直後は、浸水範囲の特定と堤防破堤状況の特定が必須、且つ目的であるが、時間経過後の仮締切計画の段階ではどの程度の区間が破堤しているのか、その規模の特定に重点が置かれる。このように、時間の経過とともに把握したい内容は異なってくるため、それを捉える計測手法も変える必要がある。

UAVの具体的な計測手法検討にあたり、調査で捉えるべき内容を「視覚的な把握」「形状把握」

表-6 時間経過による初動調査把握内容の変化

着眼点	箇所の把握	規模の把握	量の把握
UAV計測手法	斜め写真撮影	垂直写真撮影 (オルソ画像作成)	グリーンレーザ計測
時間軸	→		
調査項目	啓開対象施設調査		
把握対象	道路、河川等全体の把握	閉塞状況の把握	閉塞量の把握
捉えたい事象	どこが通行不可か	どのように閉塞しているか	どれくらいのがれきりが堆積しているか
調査項目	浸水区域及び排水処理に係る施設調査		
把握対象	排水処理施設含む浸水区域全体の把握	破堤、破損状況の把握	崩壊量の把握
捉えたい事象	・浸水はどこまでか ・破堤箇所はどこか	どの区間破堤、破損しているか	どれくらい崩壊が起きているか
調査項目	二次被害防止のための監視が必要な施設調査		
把握対象	啓開対象及び排水処理施設に接する施設の変状把握		
捉えたい事象	・対象施設に変化があるか ・継続的な状況履歴		

「量的把握」に分類した。「視覚的な把握」はデジタルカメラによる撮影、「量的把握」はレーザスキャナによる計測、「形状把握」は両方の計測手法が活用できるとし、調査内容に合わせ、適切な計測手法を選定した。計測手法は調査毎に設定し、対象施設の形状に応じ、効率的な計測手法を検討した。陸上及び水中の河川構造物を捉えたデジタルカメラによる撮影成果の例（図-2）、グリーンレーザスキャナによる計測成果の例（図-3）を示す。撮影データは視覚的に構造物の状況を確認できるとともに、位置座標を持ったオルソ画像データにすることで、他のデータとの重ね合わせが可能となり、災害前後の状況比較に利用できる。また、グリーンレーザスキャナにより取得した三次元点群データは点群同士を結び面構造化し、陰影表現を取り入れることで、構造物等の形状をよりわかりやすくする微地形解析図データを作成することができる。これにより、構造物の変状等も認識しやすくなる。

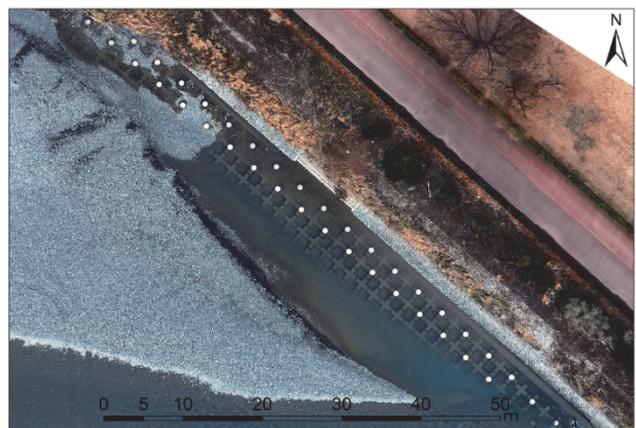


図-2 オルソ画像データの例

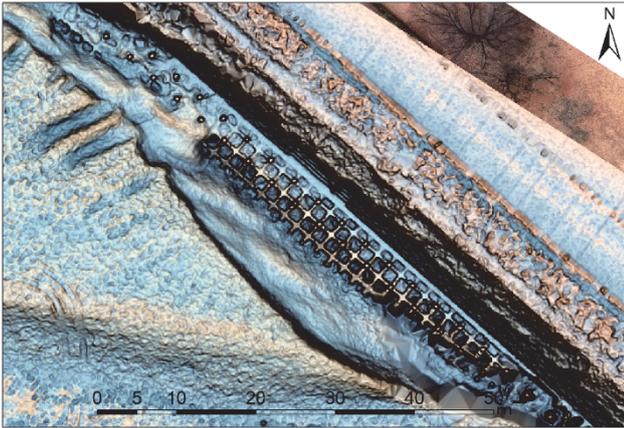


図-3 微地形解析図データの例

各調査における詳細な計測条件の設定例を表-7に示す。計測仕様は公共測量作業規程やメーカー推奨値をベースとし、計測対象の把握粒度に応じ

表-7 各調査における詳細な計測条件設定例

実施項目	実施内容（上段左：調査名、右：計測手法、下段：仕様及び評価指標）	
浸水区域の調査	浸水区域全体を把握するための調査	
	斜め写真撮影（全天機+小型）	
	仕様：高度140m、360度8方位、角度3パターン、離発着地点直上で実施 評価指標：視認範囲（上流どの程度までの河道域を確認できるか）	
	浸水区域を特定するための調査	垂直写真撮影
啓開対象施設の調査	施設（管理用道路、河川敷地（中州））の状況調査①	
	斜め動画撮影	
	仕様：高度50m、速度6m/s、離隔100m 評価指標：施設の概要を確認できる	
	施設（管理用道路）の状況調査②	望遠撮影
排水処理に関係する施設の調査	施設（管理用道路、河川敷地（中州））の状況調査③	
	垂直写真撮影	
	仕様：高度140m、OL90%、SL60%、速度5m/s 評価指標：がれきを模したコンテナBOX（山積3箱）又は漂流物を視認できる	
	施設（管理用道路、河川敷地（中州））のがれき量調査	グリーンレーザ計測
二次被害防止のための定期監視	管理施設（護岸）の定期監視兼応急復旧測量	
	垂直写真撮影	
	仕様：i 高度140m、OL90%、SL60%、速度5m/s（浸水区域調査と兼ねる） ii 高度70m、OL80%、SL60%、速度5m/s 評価指標：護岸の1ブロックを視認できる	
	管理施設（護岸）の定期監視兼応急復旧測量	グリーンレーザ計測
二次被害防止のための定期監視	管理施設（護岸）の定期監視兼応急復旧測量	
	グリーンレーザ計測	
	仕様：i 高度80m、SL50%、速度5m/s、基準点無、クロス計測 ii 高度65m、SL60%、速度4m/s、基準点無、クロス計測 iii 高度50m、SL70%、速度3m/s、基準点有、クロス計測 評価指標：・護岸の1ブロックを形状認識できる ・護岸の水際の濡れた部分も形状取得できる	

設定した。状況調査は「斜め動画撮影」「望遠撮影」「垂直写真撮影」で行うとし、被災量調査は「グリーンレーザ計測」で行うとしている。近赤外線レーザではなくグリーンレーザを選定した理由は、災害時の浸水区域の水面や水に濡れた管理施設を欠測なく計測するためである。グリーンレーザ計測は陸部と水部を網羅的に計測できる技術である。

## 7. まとめ

本検討では、地震津波発生後の初動調査において、全天候機UAVやグリーンレーザスキャナ等を活用した調査方法の検討を行い、調査対象毎に具体的な計測方法を設定した。本設定を一つの指標とし、継続的な仕様の検討・改正を行っていくことで、UAVを活用した初動調査の効率化を実現することが求められる。併せて、新しい技術を素早く取り入れることや、運用をより効率的に行うために仕様を標準化することも必要であると考えられる。

最後に、関東大震災の火災被害の教訓から「何があってもすぐ消火」であったのが、生活環境が変化したことで「揺れが収まってから消火」に変化している。だが、被災時は状況が時々刻々と変化するものであり、常にその状況を把握することが求められる。その状況把握に、UAV等の技術を活用することで、災害対応の効率化の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（カテゴリーⅢ飛行）、2023。  
<https://www.mlit.go.jp/common/001586101.pdf>
- 2) 国土交通省：緊急用務空域の設定に関するQ&A、2021。  
<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001407133.pdf>

笠井良彦



研究当時 国土交通省中部技術事務所 地震津波対策技術課長、現 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 環境共生課長  
KASAI Yoshihiko

川尻耕成



国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 地震津波対策技術課長  
KAWAJIRI Kousei