

〈特集〉

適正な災害廃棄物管理のためのドローンの適用事例

中山裕文¹⁾, 島岡隆行²⁾, 花嶋孝生³⁾, 眞鍋和俊⁴⁾¹⁾九州大学大学院 工学研究院環境社会部門
(〒819-0395 福岡市西区元岡744 E-mail:nakayama@doc.kyushu-u.ac.jp)²⁾九州大学大学院 工学研究院環境社会部門
(〒819-0395 福岡市西区元岡744 E-mail:shimaoka@doc.kyushu-u.ac.jp)³⁾応用地質(株) 九州事務所
(〒812-0018 福岡市博多区住吉3丁目1番80号 E-mail:hanashima-takao@oyonet.oyo.co.jp)⁴⁾応用地質(株) 地球環境事業部
(〒305-0841 つくば市御幸が丘43 E-mail:manabe-kazutoshi@oyonet.oyo.co.jp)

概要

近年発生する災害は、激甚化、頻発化する傾向にある。災害時に発生する膨大な量の災害廃棄物を適正に管理するため、災害廃棄物仮置場においてドローンを用いたモニタリングが実施されている。本稿では、平成28年熊本地震、平成29年九州北部豪雨災害等の災害において、災害廃棄物の迅速かつ適正な管理を目的とし、災害廃棄物仮置場等における災害廃棄物量の計測、廃棄物組成の把握、発熱状況の監視等のモニタリングのためのドローンの利活用事例を紹介する。

キーワード：災害廃棄物、仮置場、ドローン、体積、組成、温度

原稿受付 2022.2.1

EICA: 26(4) 67-71

1. はじめに

災害時には、被害を受けた家屋から大量の災害廃棄物が発生する。被災者が日常の生活に戻るには、まず廃棄物を家屋から搬出し、室内を清掃することが必要となる。水害の場合、被災者による廃棄物の搬出行動は災害後すぐに始まるため、自治体では早急に仮置場を設置して廃棄物の受け入れ態勢を整え、適切な分別指示をしなければ、発生した廃棄物がすべて混合状態となり、その後のリサイクルが困難となる。また、梅雨、夏場は廃棄物の腐敗による悪臭や衛生害虫獣が発生することがあるため、公衆衛生上、迅速な対応が求められる。そのため、発災後には、直ちに災害廃棄物の発生量が推定されるとともに、災害廃棄物仮置場(以下、仮置場)の必要面積が算定され、それに応じて仮置場が設置される。その後、災害廃棄物の発生量、処理体制、処理方法、処理フロー、処理スケジュールなどを整理した災害廃棄物処理実行計画が策定される¹⁾。通常、災害廃棄物の発生量は、被害状況別の棟数、世帯数、延床面積等の指標に、災害廃棄物の発生原単位を乗じることによって求められる。このようにして推計される災害廃棄物の発生量に対し、被災地では、仮置場において、搬入されてくる災害廃棄物の量を日々計測し、災害廃棄物処理実行計画における推計値と照らし合わせることで、必要に応じて処理計画を適宜改定していくことが可能となる。仮置場における

日々のモニタリング項目は多岐にわたり、災害廃棄物の組成別の搬入量、堆積高さ、分別状況、廃棄物の内部温度などがある。これらのモニタリングを実施することで、災害廃棄物搬入量に対して設置した仮置場は十分な広さを有しているのか、災害廃棄物の分別は適切に行われているのか、山状に堆積された災害廃棄物が発酵し、廃棄物の蓄熱により内部温度が上昇して火災の危険性が高まっていないか等を監視することが可能となる。しかしながら、災害の規模が大きくなるにつれ、膨大な量の災害廃棄物の状況を地上からモニタリングすることは困難となる。

近年ではドローンを利用することで仮置場のモニタリングを効率的に行う試みがなされている^{2,3)}。ドローンによって撮影した画像を元に Structure from Motion (SfM, 多視点幾何による撮影位置の推定と3次元形状の復元) 解析を用いることで仮置場の3次元モデルを作成し、災害廃棄物体積を容易に計測することが可能である。また、赤外線サーモグラフィを搭載したドローンを用いることで、災害廃棄物の表面温度を計測し、発熱状況を監視することもできる。そこで、本稿では、災害廃棄物を迅速かつ適正に管理することを目的とし、近年の災害における仮置場のモニタリングにドローンを利活用した事例について紹介する。

2. 平成 28 年熊本地震における西原村災害廃棄物仮置場のモニタリングのためのドローンの活用

熊本県阿蘇郡西原村にご協力頂き、西原村村民グラウンドに設置された仮置場に搬入される災害廃棄物を計測する機会を得た。2016年4月16日の本震の約1か月後の2016年5月15日に第1回目の計測を実施し、翌年の2017年6月7日までの間、計9回の計測を実施した。撮影に用いたドローンはDJI社のPhantom 2および同Phantom 4であり、撮影した画像からAgisoft社のPhotoScanによりSfM解析による災害廃棄物の3次元モデル化を行った後、Robert McNeel & Associates社のRhinoCerosにより体積を求めた。

Fig. 1 上段に、2016年5月15日において、仮置場の上空高度40~45mからドローンにより撮影した画像より作成したオルソ（正射投影）画像を示す。地震により損壊した家屋の解体がすでに開始されており、大量の廃木材が仮置場に搬入されている状況が分かる。**Fig. 1** 下段は、同様の撮影を2016年11月6日に実施した仮置場のオルソ画像である。11月6日の計測では、5月15日と比較して仮置場に搬入された廃棄物の量が増加していることが分かる。ドローンによる体積推定値と、平板測量による体積推定値との誤差を計測した結果、0.8%程度の違いであり、災害廃棄物量の計測には十分な精度であった。

ドローン画像を元に計測した木質系廃棄物の体積の推移をグラフ化したものを**Fig. 2**に示す。西原村仮置場における木質系災害廃棄物の体積は、発災約200日後の11月6日に最大の約42,000 m³となり、その後減少に転じた。西原村における木質系災害廃棄物の総

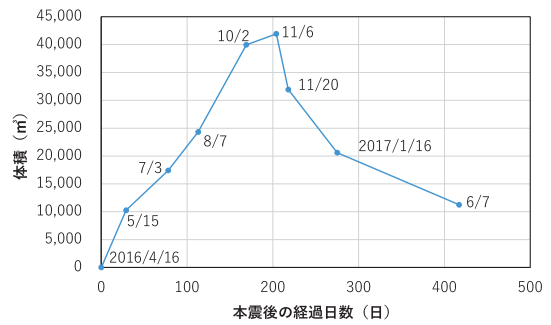


Fig. 2 西原村災害廃棄物仮置場におけるドローン計測による木質系廃棄物の体積の推移

処理量を体積換算すると約103,000 m³となり、このことから、西原村仮置場にはピーク時は、木質系廃棄物総発生量の約41%が集積していたことになる。ドローンによるモニタリングの結果を日常的に仮置場管理業務に活用するためには、撮影と解析に必要な時間は短時間であることが望ましい。1.5 ha程度の仮置場を対象に実施した場合、約6時間で結果を出すことが可能であり⁴⁾、十分に日常業務に活用できると考えられる。

Fig. 3 は、赤外線サーモグラフィ (FLIR 社 Vue pro) を搭載したドローンにより西原村仮置場内に堆積した木くずチップの山を撮影した可視画像および熱画像の3次元モデルである。この画像を撮影した当時の気温は15℃前後であったが、木くずチップの山の稜線部分が30℃以上の高温となっている状況が分かる。山の高さは2m以上あったため、地上からでは高温部を確認することが困難であったが、ドローンにより撮影した熱画像を確認後、発熱箇所を掘削したところ、内部温度は70℃以上となっていることを確認



(上段：2016年5月15日，下段：2017年11月6日)

Fig. 1 西原村災害廃棄物仮置場のオルソ画像

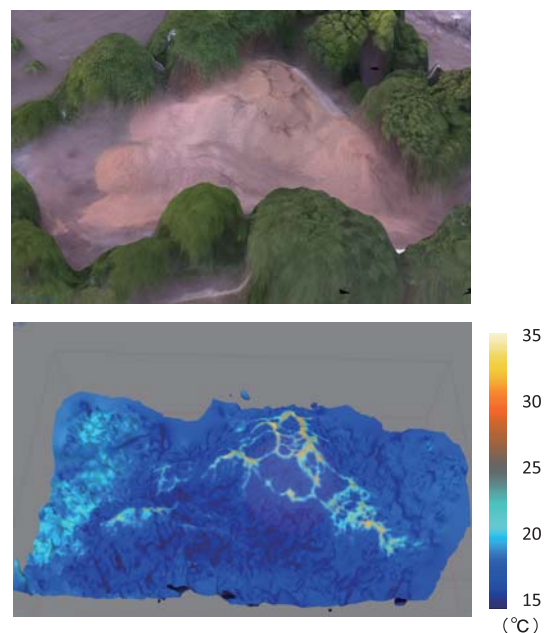


Fig. 3 西原村災害廃棄物仮置場における木くずチップの山の可視画像（上段），熱画像（下段）の3次元モデル

した。その後、直ちに西原村役場に連絡がなされ、現場管理者により木くずチップの山を崩して放熱を促したり、散水する等の対応がとられた。

3. 平成29年九州北部豪雨災害における事例紹介

(1) 朝倉市の災害廃棄物仮置場における事例

平成29年7月5日から6日にかけて発災した平成29年九州北部豪雨において、朝倉市では、甘木地区、朝倉地区、杷木地区の3か所に仮置場が設置され、7月9日の早朝から災害廃棄物の受け入れが開始された。著者らは仮置場が開設された7月9日に現地に入り、被災地および仮置場等の調査を実施した。その後も環境省のD. Waste-Netの活動として継続的に福岡県および朝倉市の担当部局と連携しつつ、仮置場において災害廃棄物のモニタリングを行ったのでその内容について報告する。

Fig. 4はゲートボール場および駐車場を利用して設置された甘木地区仮置場のオルソ画像である。調査日は、仮置場設置から5日が経過した2017年7月14日であり、ドローン撮影画像から3次元モデルを作成して災害廃棄物の体積を計測した結果、4,469 m³であった。また、図中には分別された災害廃棄物の境界線を記入し、番号を記入している。Table 1は、Fig. 4の画像と対応した廃棄物の組成別体積を示している。甘木地区仮置場では、20種類の組成別に分別されており、最も体積が大きかったのは図中番号1の可燃物の1,468 m³、次いで図中番号2の粗大ごみ（木製家具、木くず等）の1,307 m³であった。

Fig. 5は、甘木地区災害廃棄物仮置場が開設された2017年7月9日から7月20日までの災害廃棄物量および仮置場面積に対する占有率の推移である。7月9

Table 1 甘木地区仮置場の組成別災害廃棄物体積

図中番号	組成	体積 (m ³)
1	可燃物	1,467.8
2	粗大ごみ (木製家具・木くず等)	1,306.6
3	布団・ソファ	12.5
4	流木・竹・生木	76.1
5	角材柱材	71.4
6	不明	22.7
7	農業用ビニル	97.7
8	不燃物, 陶磁器, レンガ等	105.8
9	ガラス混合金属, サッシ等	312.5
10	金属類	199.6
11	畳	298.5
12	金属類	114.9
13	不明	4.8
14	消火器等	9.2
15	蛍光管	2.1
16	廃タイヤ	37.1
17	マットレス	21.1
18	小型家電, ストープ等	20.4
19	家電4品目	288.6
合計		4,469.3

(表中の番号は Fig. 4 に対応)

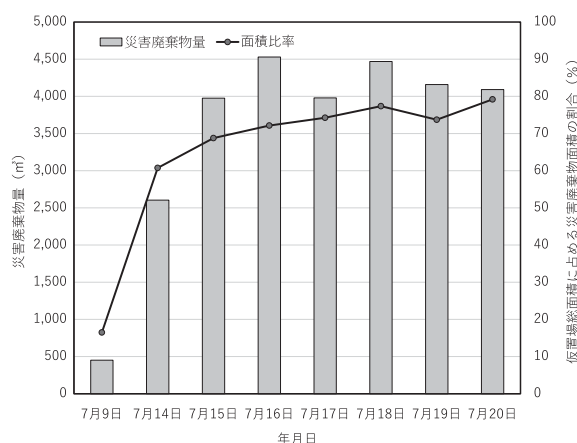


Fig. 5 甘木地区災害廃棄物仮置場におけるドローン計測による災害廃棄物量および仮置場面積に対する占有率の推移

日に災害廃棄物量 451 m³、面積占有率 16.5%であったのが16日にはそれぞれ 4,529 m³、72.1%へと急激に増加し、その後はほぼ一定の値で推移した。一方、この期間中のトラックの搬入台数は減少していない⁵⁾ことから、7月16日以降は、搬入量と搬出量がバランスしていたことが分かる。7月16日の災害廃棄物の面積占有率は72.1%であり、搬入路の面積が20~30%必要であることを考慮すると、この時点では仮置場の面積に余裕はなかったと考えられる。

Fig. 6は、甘木地区災害廃棄物仮置場における廃棄物の組成別構成比の推移を示している。これを見ると、災害廃棄物の組成は一定ではなく、変化していることが分かる。仮置場開設時の7月9日は可燃物、粗大ごみ（木製家具、木くず等）が71.5%を占めたが、その後7月20日には57.6%まで減少した。代わって、



(2017年7月14日、図中の番号は Table 1 に対応)

Fig. 4 甘木地区災害廃棄物仮置場のオルソ画像

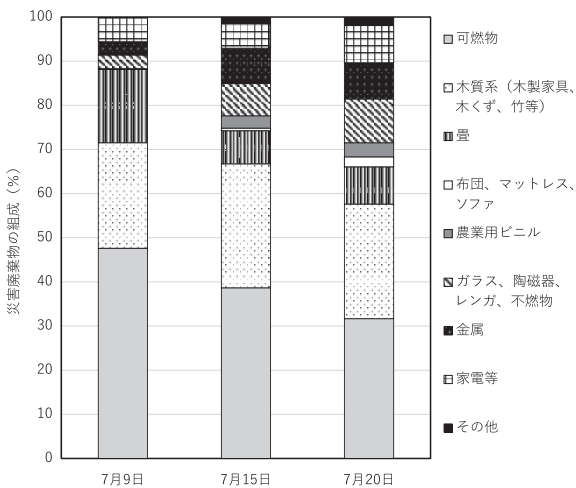


Fig. 6 甘木地区災害廃棄物仮置場におけるドローン計測による廃棄物量組成の推移

ガラス、陶磁器、レンガ、金属、家電等の構成比が増大した。この理由として、可燃系の廃棄物の搬出が進んだことが考えられる。特に、7月13日以降、福岡市、北九州市などの協力による広域処理³⁾が本格化したことから、可燃系廃棄物が搬出、処理され、仮置場における構成比が減少したことが一因として挙げられる。

(2) 流木仮置き場における流木量の計測と単位体積重量の計測

平成29年九州北部豪雨では、国土交通省等による航空写真からの推定により、約21万トンの流木が発生したと推計された。流木を残置すると災害復旧の妨げとなることから、仮置場に集積して順次処理する必要があるため、25カ所、総面積13万 m^2 の流木用の一次仮置場が確保された。また、集積された流木を破碎、選別処理するための二次仮置場も一カ所設置された。

一般に水害によって発生した流木の処理量の管理は、重量を単位として行われる。しかしながら、仮置場にはトラックスケール等の計量施設はなく、重量は処理施設に搬出されるまで判明しないため、流木が仮置場に保管されている段階では流木の重量を把握することが難しい。そこで、仮置場においてドローンで計測した流木体積と、仮置場から搬出された後に廃棄物処理施設等で計測された重量から、流木の単位体積重量を求めた。

Table 2 に浮羽地区の流木仮置場における計測結果を示す。流木には、丸太、木端、根株等があり、種類やサイズによって単位体積重量が大きく異なる。また、仮置場に配置した際に整列して配置した場合 (Fig. 7 上段) と、乱雑に配置した場合 (Fig. 7 中段) では、流木間の空隙が異なるため、単位体積重量が異なることが分かる。なお、SfMにより流木の3Dモデルを作

Table 2 流木仮置場におけるドローン計測による体積、処理施設に搬出後に計測された重量、単位体積重量

流木の種類	処理施設で計測された重量 (t)	ドローン計測による体積 (m^3)	単位体積重量 (t/m^3)
整列して配置された丸太および根株付き丸太	1,530	4,908	0.312
乱雑に配置された丸太および木端	153	624	0.246
根株	637	196	0.308
	2,489	363	0.146



Fig. 7 整列して配置された丸太 (上段), 乱雑に配置された丸太および木端 (中段), 根株 (下段)

成する際には、整列して配置した流木と乱雑に配置した流木では、3Dモデルの点群数やメッシュ数などの特徴量が異なることが分かっており、3Dモデルの特徴量と単位体積重量の関係性等が検討されている⁶⁾。

4. おわりに

本稿では、近年の災害における仮置場内の災害廃棄物の適正な管理を目的としたドローンの適用事例について紹介した。主要な成果を以下に示す。

- (1) 平成28年熊本地震における西原村災害廃棄物仮置場での調査結果より、ドローン画像から作成した3Dモデルによって推計した災害廃棄物の体積と平板測量によって計測した体積とを比較した結果、誤差は管理上支障のない範囲であることが分

かった。

- (2) ドローンによる仮置場の災害廃棄物の撮影および解析に必要な時間は、仮置場の面積や使用するコンピュータの性能によって異なるが、本研究で対象とした西原村仮置場 (1.5 ha) であれば、6時間程度で撮影と解析を完了でき、仮置場の日単位でのデータ管理に十分に適用できると考えられた。
- (3) 熱赤外線サーモグラフィーを搭載したドローンを用いることで、仮置場における廃棄物の発熱を検出することが可能であり、火災の予防に有効であった。
- (4) 平成29年九州北部豪雨災害における朝倉市甘木地区災害廃棄物仮置場における調査により、災害廃棄物の体積、組成、仮置場における占有面積を日単位で把握し、日常的な管理に活用することが可能であった。
- (5) 流木仮置場においてドローンにより計測した体積と廃棄物処理施設で計測した重量から、流木の単位体積重量を把握することができた。流木の単位体積重量は、仮置場に流木を搬入する際に、流木を整列して配置した場合と乱雑に配置した場合で異なっていた。

参考文献

- 1) 環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室：災害廃棄物対策指針 (改定版), http://kouikishori.env.go.jp/guidance/guideline/pdf/position_of_pointer_main.pdf (閲覧日 2021年10月1日)
- 2) 花嶋孝生, 山口健太郎, 眞鍋和俊, 中山裕文, 島岡隆行, 松下公夫, ドローン (無人航空機) を用いた災害廃棄物発生量把握についての事例紹介, 第38回全国都市清掃研究・事例発表会, 2017年
- 3) Amirhomayoun Saffarzadeh, Takayuki Shimaoka, Hirofumi Nakayama, Takao Hanashima, Kentaro Yamaguchi, Kazutoshi Manabe: Tasks and problems involved in the handling of disaster waste upon April 2016 Kumamoto Earthquake, Japan, *Natural Hazards*, vol. 89, No. 3, pp. 1273-1290, 10.1007/s11069-017-3021-1, 2017
- 4) 花嶋孝生, 山口健太郎, 眞鍋和俊, 中山裕文, 島岡隆行: UAV を利用した仮置場における災害廃棄物量の把握, 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, pp. 155-156, 2016年
- 5) 中山裕文, 島岡隆行: 九州北部豪雨における災害廃棄物等の発生・処理について, *消防防災の科学*, 第132号, pp. 34-40, 2018年
- 6) Hirofumi Nakayama, Hirotaka Kato, Takayuki Shimaoka: Study on management of wood debris induced by northern Kyushu heavy rain in July 2017 using aerial survey and 3D modeling, *Proceedings of 10th China-Japan Joint Conference on Material Recycling and Waste Management*, *Proceedings of 10th China-Japan Joint Conference on Material Recycling and Waste Management*, pp. 239-243, 2019