

災害廃棄物発生量の推計と計測手法について

～熊本地震の継続調査と視察を通して～

九州大学大学院工学研究院環境社会部門教授 島岡 隆行

1. はじめに

自然災害の発災後、何よりも優先されるものは人命救助である。被災者の安全確保も同様に、優先される。その後は、医療、交通、住宅、通信等の様々な分野に対して、復旧・復興に向けての取組み、支援活動がなされる。その様な中、本稿では、被災地の復興期において大きな割合を占める災害廃棄物処理の根幹となる災害廃棄物発生量の推計方法及び計測方法について述べる。

発災直後においては、し尿、避難所からの生活ごみの適正な処理が公衆衛生、健康面から重要である。同時に、被災者は一日でも平常時の生活へ早く戻すべく、災害が沈静化するや否や住居の片付けを始めるため、一時に不要となった家財道具、建具等の大量の片付けごみが排出される。その後、復興期には損壊した家屋の解体と解体廃棄物の適正な処理へと災害廃棄物対策の重点が移る。人間が生涯に亘り排出する廃棄物は、原単位 1 kg/人・日、寿命 80 年とすると、29.2 t/人と算出される。家屋 1 棟の解体に伴い発生する災害廃棄物は、その量を遥かに上回る。その意味においても、本稿での災害廃棄物は、家屋解体廃棄物を対象にしており、災害廃棄物処理を実行する上で、迅速性と高い精度が求められる推計方法及び計測方法について、私見を交えて述べる。

2. 災害廃棄物の発生量及び要処理量の推計

災害廃棄物量の推計は、災害廃棄物を迅速かつ環境負荷を最小限に処理するための災害廃棄物処理実行計画を策定する上で重要である。災害廃棄物の処理を終えるまでの年数が提示されると、災害廃棄物量を期間内に処理

を終えるための被災建物の解体速度、搬出速度、二次仮置場として確保すべき面積、そこでの中間処理方法や処理能力等が計画される。

災害廃棄物の発生量の推計方法には、以下のものがある。発災以前においては、洪水の浸水想定区域、発生が想定される地震の震度や津波による浸水区域及び被災が想定される地域の建物棟数とその耐震性（耐震構造）によって、全壊、半壊、床上浸水、床下浸水の棟数を割り出し、各々の発生原単位を乗じることによって災害廃棄物の発生量が求められる。また、環境省においては、発生原単位として 1 棟当たりの発生量を、また内閣府においては床面積当たりの発生量を用いて推計することとしている。自治体が災害廃棄物処理計画を策定する際には、主にこの 2 つの推計方法が用いられている。

【環境省】

災害廃棄物量 = Σ (被害棟数 (棟) × 発生原単位 ※ (t/棟))

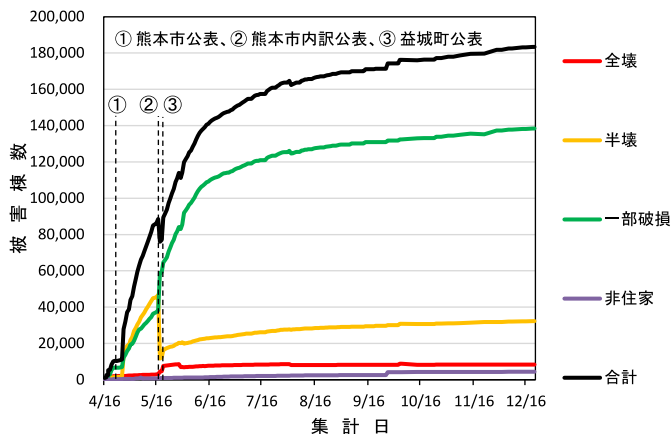
※ 全壊 116.9 t/棟、半壊 23.4 t/棟、一部損壊 4.7 t/棟
(東日本大震災 (岩手・宮城県) の実績に基づく)

【内閣府】

災害廃棄物量 = Σ (被害棟数 (棟) × 平均延床面積 (m²/棟) × 発生原単位 ※ ※ (t/m²))

※ ※ 全壊木造 0.70 t/m²、RC 造 1.11 t/m²、S 造 0.71 t/m² (阪神淡路大震災の実績に基づく)

発災直後の災害廃棄物の推計には、人工衛星画像より建物の被害状況を判定し、発生原単位を用いて推計する方法も試みられている。熊本地震においては、環境省



(平成 28 年 12 月 21 日まで)

図 1 熊本地震における建物被害棟数の推移

がこの推計方法により、発災約 1 か月後の 5 月 11 日に暫定値、約 100 万 t ~ 130 万 t を公表した。被災状況は、時間の経過とともに、各自治体が発行する罹災証明の発行数によって明らかになる。図 1 に熊本地震の建物被害棟数の継時変化を示す。家屋認定調査が進むに連れて被害棟数は増加するが、自治体の公表時期や被災状況の判定見直し等により、発災直後から 2 か月間程度は数値変動が大きい。建物被害棟数の変化が少なくなったのは、被災後 8 カ月が経過した平成 28 年 12 月頃である。

災害廃棄物を処理する上で求められる数量は、発生量ではなく処理しなければならない災害廃棄物量(要処理量)である。処理が必要な災害廃棄物量は、公費解体(災害廃棄物処理事業補助金対象)の対象範囲に依って大きく変動する。半壊家屋も公費解体の対象となるのか、被災家屋内に残置された家財道具、家屋基礎の撤去と処分も補助金の対象とするのか、公物解体の廃棄物を含めるのか、さらには海溝型地震においては津波による流倒木や津波土砂等を災害廃棄物として取り扱うのかによって要処理量は相当に異なる。これらの判断は、被害の甚大性、復興の迅速性、国の財政等を総合的に勘案してなされるものと思われ、合理的な判断基準はない。家屋基礎の撤去に関しては、阪神淡路大震災においては公費解体の対象とならず、再建が遅れた要因とされた。東日本大震災、熊本地震では公費解体の対象とされたものの、その後の糸魚川大火災においては公費解体の対象から家屋基礎が外された。公費解体の対象範囲は、災害廃棄物要処理量の迅速な推計を困難とする一要因である。

初期対応

①し尿
●仮設トイレ等の槽が満杯に・・・
→し尿処理業界が各地から応援

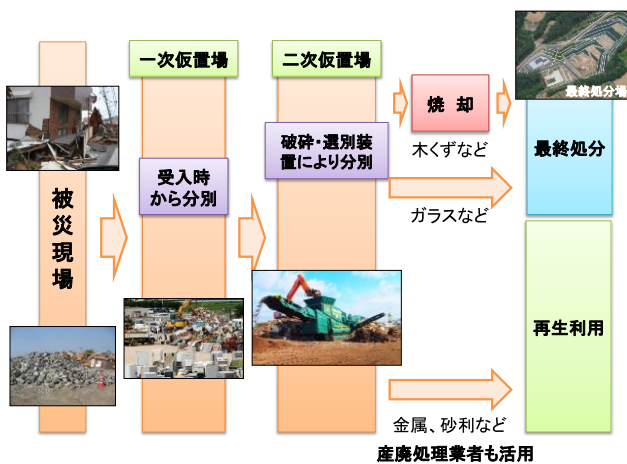
②生活ごみ
●集積所等で悪臭やハエの発生、景観の悪化
→他市町村からの応援

③災害廃棄物(がれき)
●生活再建・復興の支障
→仮置場の設置と集積
→発生量の推計
→広域処理体制の構築

環境省資料 平成 28 年 4 月 22 日公表

図 2 災害時の廃棄物対策、3 つの柱

図 2 は災害時の廃棄物対策の 3 つの柱を示す。初期対応として、し尿、生活ごみ及び片付けごみの適正な処理に重点が置かれる。し尿については、仮設トイレの設置等、発災後、最も急がれる対応である。避難所等からの生活ごみの処理は、臭気、害虫、伝染病の発生抑制等の観点から重要あり、梅雨等、被災時期によっては公衆衛生上、特に注意が必要である。災害廃棄物の対応は、中長期的な対応にあたり、発災後数か月後から始まる。一般的に、図 3 に示す処理フローに従って災害廃棄物は処理される。公費解体は被災住民からの解体申請に基づき、市町村により解体が必要と判断された家屋について解体され、仮置場への搬出、適正な処理処分へと進む。災害廃棄物の要処理量は解体申請棟数に基づいて、決定されることになる。罹災証明を受けた家屋であっても、被災



環境省資料 平成 28 年 4 月 22 日公表

図 3 災害廃棄物の処理フロー

者の個人的な諸事情によって、解体申請が行われない事例もあり、要処理量の推計を難しくしている。発災から家屋解体が始まるまでに数か月の時間的猶予が与えられているので、災害廃棄物の要処理量の推計にあたり、建物被害棟数から算定される発生量の推計値を基本的な数量として捉え、罹災証明発行数、解体申請件数の推移をもとに、要処理量を柔軟に見直していくことが大切である。また、解体工事が始まってからは公費解体に伴う災害廃棄物の実績発生量をもとに、推計発生量を適宜見直すことが現実的である。

3. 災害廃棄物発生原単位の精査

先に述べた様に、災害廃棄物の発生量を推計する上で、発生原単位は重要であり、精度を高めることが求められる。用いられている発生原単位（棟/t、または㎡/t）は、過去の大規模災害事例において、公費（補助金）で処理された災害廃棄物処理量をもとに算定されたものであり、補助金の対象とされた災害廃棄物の範囲が異なる中で、被災棟数や延床面積で除して求められたものである。災害廃棄物の範囲とは、片付けごみ（家財道具、建具等）、家屋の損壊程度（全壊、半壊等）、家屋基礎等、どこまでの範囲を補助金の対象としたのかを意味する。我々は、環境省委託事業として、熊本県上益城郡甲佐町において、解体家屋から発生する廃棄物の発生原単位を精査する調査（モデル解体調査）の機会を得たので、簡潔に結果をご紹介します。

3. 1 家屋解体調査

(1) 調査対象家屋の選定

まず、関係機関と協議等を行い、損壊家屋等の解体撤去申込書等を確認し、調査対象家屋の概要を把握した上で調査対象家屋を選定した。

モデル解体調査において、仮置場にトラックスケールが設置されておらず、重量計測ができない状況であった。そのため、解体により発生した廃棄物の計量は、仮置場への搬出時にポータブル型車両重量計（以下、トラックスケール）により組成別の重量を測定した。また、解体

現場では廃棄物を組成別にフレコンバッグへ保管することもあったため、その際はトラックへの積み込み時にクレーンスケールにより重量を測定した。また、仮置場では廃棄物の組成別の単位体積重量を把握するため、ポール法によって組成別の体積を測定した。

調査対象家屋を選定する上での条件を決定し、調査対象家屋を選定した。甲佐町環境衛生課から提供を受けた「損壊家屋等の解体撤去申込書、損壊家屋等の解体撤去に係る同意書、罹災証明書、全部事項証明書、資産証明書、損壊家屋等の解体撤去承認書」等の資料から調査を行った。調査対象家屋は新耐震基準が適用されておらず倒壊家屋数が多い「建築年代昭和56年以前の木造全壊家屋」を対象とした。甲佐町の解体工程に基づき、①A邸、②B邸、③C邸の3棟を選定し、モデル解体調査実施の了承を得た。調査対象家屋については、「損壊家屋等の解体撤去申込書」等の資料から家屋建築年、延床面積、敷地面積、構造、家屋特徴、被災形態、住居人数の情報を入手した。なお、構造(瓦、壁、基礎)については、解体を実施しながら情報を得た。

(2) 解体廃棄物の調査

a. 組成別重量測定

解体家屋から発生する廃棄物の発生原単位を把握するため、解体により発生した廃棄物の組成別の重量を測定した。解体により発生した廃棄物は「柱・角材・木くず、可燃物、金属くず、コンクリートがら、瓦、混合廃棄物、



図4 家屋解体の流れ

ガラス・陶磁器、石膏ボード、畳、廃プラスチック、その他」に分別し、仮置場への搬出時にトラックスケールにより組成別の重量を測定した。また、フレコンバッグに保管して一齐に搬出する廃棄物(可燃物、石膏ボード、廃プラスチック、その他等)もあったため、トラックへのフレコンバッグ積み込み時にクレーンスケールにより重量を測定した。なお、布団や小物、農業用具等の雑物は市販の体重計によって重量を測定した。図4に家屋解体の流れを示す。

b. 組成別の体積測定

廃棄物の組成別の単位体積重量を把握するため、組成別に体積測定を行った。仮置場において、モデル解体により発生した廃棄物を組成別に保管し、ポール法を用いて動画撮影を行い、3Dモデル化を行った。3Dモデル解析を行うことで組成別の体積を算出し、重量測定結果と併せて組成別の単位体積重量を算出した。

(3) 解体廃棄物発生原単位

モデル解体で得られた廃棄物の発生原単位を表1に示す。モデル解体における一棟あたりの廃棄物発生量は、平均92t/棟、延床面積100m²あたりの災害廃棄物発生量は41.6t/100m²となった。環境省が示す発生原単位117t/棟、延床面積100m²あたりの発生量70t/100m²と比べて、かなり小さな値となっている(表2参照)。本調査は、家屋解体に伴い発生する廃棄物だけであり、片付けごみ、家財道具、公物等は一切含まれていないことが大きな理由と考えられる。

図5には解体廃棄物の組成を示す。コンクリートがらが50.2%と半数を占め、瓦の割合も14.2%と大きな割合となっている。熊本地震では、家屋基礎も公費解体の対象となったためコンクリートがらが高い比率となっている。一方、家屋解体では分別排出が徹底されていたため、混合廃棄物は12.2%と小さな値となっている。

表1 家屋解体廃棄物の発生量調査結果

項目	A邸	B邸	C邸	平均
延床面積(m ²)	216.58	273.53	171.69	220.6
廃棄物発生量(t/棟)	100.0	110.1	65.9	92.0
延床面積1m ² あたり発生量(t/m ²)	0.462	0.403	0.384	0.416
延床面積100m ² あたり発生量(t/100m ²)	46.2	40.3	38.4	41.6

表2 各文献における延床面積100m²あたりの災害廃棄物発生量

文献等	延床面積100m ² あたりの災害廃棄物発生量(t)	備考
モデル解体	41.6	本調査
熊本県	60	熊本県(2016)
東京都	31.3	東京都
兵庫県	57.1	兵庫県
川崎市	50	川崎市防災会議
廃棄物学会誌	62	高月ら(1995)
	71	
標準的な解体工事	27	北海道用地対策連絡協議会
資材投入量	42.8	全国解体工事業団体連合会
解体材排出量	42.7	

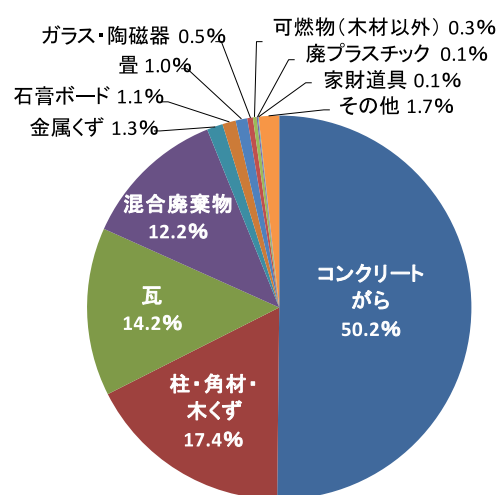


図5 家屋解体廃棄物の組成 (3邸の平均値)

(4) 解体廃棄物の組成別単位体積重量

図6、図7に、ボール法で撮影した画像を用いて作成した解体廃棄物の3Dモデルの一例を示す。また、トラックスケール及びクレーンスケールで測定した解体廃棄物重量と3Dモデルから求めた廃棄物の体積をもとに組成別の単位体積重量を求めた。過去の調査事例と本モデル解体の組成別単位体積重量を表3にまとめている。モデル解体では柱・角材・木くずの単位体積重量が平均0.16 t/m³であった。震災対応ネットワークの0.26 t/m³と比較すると0.10 t/m³も小さく、6割程度の値となった。一方で、モデル解体の混合廃棄物の単位体積重量は平均1.33 t/m³であったのに対して、震災対応ネットワークでは0.79 t/m³である。値に差が生じた要因として、モデル解体の混合廃棄物は土砂及び石膏ボード・モルタル等が主体であり、震災対応ネットワークでは木質系が中心であったことが考えられる。これらの単位体積重量は、次章で述べる仮置場に堆積されている災害廃棄物重量を推計する上で、重要な値である。



図6 柱・角材・木くずの3Dモデル



図7 コンクリートがらの3Dモデル

表3 既往文献における組成別単位体積重量

文 献	単位体積重量 (t/m ³)				備 考
	柱・角材・木くず	コンクリートがら	瓦	混合廃棄物	
モデル解体	0.16	1.25	1.07	1.33	本調査
震災対応ネットワーク	0.26	1.20*	1.20*	0.79	災害廃棄物の重量容積変換について(第一報) 2011.4.1、震災対応ネットワーク(廃棄物・し尿等分野)(取り纏め: 国立環境研究所)
産業廃棄物の換算係数	0.55	1.48	-	0.26	産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子マネーフェストの普及について、環境省通知(H18.12.27 環産産第061227006号)

*コンクリートがら及び瓦については、がれきを比較対象とした。

4. ドローンによる仮置場の災害廃棄物発生量の迅速かつ正確な推定方法

3. 1 調査目的

熊本県の災害廃棄物処理実行計画(第2版)(平成29年6月)によれば、災害廃棄物の発生量は熊本県内で289万トンと想定されている。災害廃棄物を速やかに処理するには、仮置場内の災害廃棄物量を安全かつ迅速に計測し、その結果から処理実行計画を策定し、適宜改定していく必要がある。

熊本県阿蘇郡西原村住民課環境係にご協力をいただき、仮置場における廃棄物堆積状況について、無人航空機(以下、ドローンと称する)による撮影を実施する機会を得た。撮影した画像からStructure from Motion(多視点幾何による撮影位置の推定と三次元形状の復元、以下SfMと称する)ソフトウェアにより災害廃棄物のモデル化ならびにソフトウェアによる体積の試算を実施した。

ドローンとSfMを活用することで、従来の測量より安全かつ迅速に測量を代替しうる正確性を有する災害廃棄物体積値が得られ、本方法は災害廃棄物の仮置場における管理について有益と考えられる。

3. 2 調査対象の仮置場及び調査方法

調査地は、西原村の西原村農林漁業者トレーニングセンターグラウンドに開設された仮置場である。広さはグラウンド1が約1.5ha、グラウンド2が約1ha、グラウンド3が約0.2haである。西原村では平成28年4月16日午前1時25分に最大震度7を観測し、被害状況は熊本県災害警戒本部の平成28年12月20日発表資料（第203報）によれば、全壊513棟、半壊844棟、一部損壊が1,044棟である。

第1回目の観測を実施した平成28年5月15日時点で、損壊家屋の一部は被災者による自主解体が始まっており、僅か1か月間で大量の廃木材が仮置場に搬入されていた（図8参照）。5月の時点ではグラウンド3に廃棄物が搬入されていなかったため、8月まではグラウンド1、グラウンド2を対象に、10月以降グラウンド3も対象として計測を実施した（図9参照）。



図8 発災当時の西原村仮置場の状況



図9 西原村農林漁業者トレーニングセンターに設置された仮置場

(1) ドローンによる災害廃棄物仮置場の撮影

平成28年5月、7月、8月の撮影においては、DJI社製 Phantom2Vision+ を使用した。10月以降の撮影については機材を更新し、DJI社製 Phantom4 を使用して撮影を行った。撮影は、災害廃棄物上を視野範囲が70%程度重なるように飛行させて撮影した。これを、各法面方向から実施して、可能な限り死角が発生しないように撮影した。

(2) Phantom2Vision+、Phantom4 での撮影方法と動画、静止画の編集

Phantom2Vision+ では、動画による撮影を行った。ドローンから手元の操作用タブレットに送信されてくる映像が不鮮明であったため、撮影対象の正確な位置を認識することができないことが多かったことが理由である。動画で連続的に撮影を行い、解析対象が写っているシーンを動画ファイルから2秒に1枚ずつ静止画で取り出して3Dモデル化に使用した。動画から切り出した画像は、静止画で撮影した画像と比較してぶれ等により画質が悪くなるという課題があった。一方、Phantom4 を用いた調査では静止画での撮影を行った。ドローンからタブレット送信されてくる画像が鮮明で、撮影対象の位置を正確に認識することが可能となった。さらに、写真に付属する位置情報（GPSによる緯度経度情報）の信頼性が向上した。静止画を使用した方が次の工程である3Dモデル化が容易になることから静止画での撮影を行った。

いずれの場合も、図10に示すような飛行ルートを設定し、撮影における進行方向の画像の重なり（フロントオーバーラップ）、隣り合う飛行ルート間の画像の重なり（サイドオーバーラップ）が70%以上となるよう撮影した。

(3) SfM ソフトウェアによる災害廃棄物の3Dモデル化

SfM解析とは、対象物を様々な角度から何枚も撮影した画像から、特徴点（建物の角等の、ある画像における特徴的な点のこと）を追跡することで、PC上で3次元

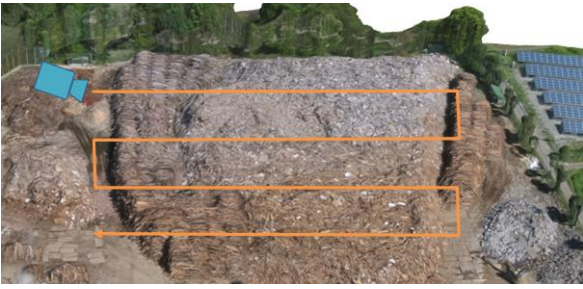


図 10 飛行ルート

幾何(structure)とカメラ姿勢変化(motion)を同時に算出する技術のことである。2つの画像間において、検出された特徴点とそれらがともに指し示す3次元空間のある1点(注目点)の3点を関連づけ、3点を結ぶ三角形を考え、特徴点1から特徴点2を計算するための行列である基礎行列の値を計算する。この2フレームごとの基礎行列は微小な誤差があるので、各特徴点での誤差を予想しながら繰り返し計算で誤差を最小とする。基礎行列が求まることで、各フレームでの特徴点の座標(すなわち3次元地形)と各フレームでのカメラ姿勢が同時に求まる。SfMソフトウェアについては、PhotoScan Ver.1.2.5(Agisoft社製)を使用した。

(4) 3Dモデル解析による災害廃棄物の面積、高さ、体積の算出

作成した3Dモデルを3次元CADソフトや3Dモデリングソフトへ導入し、不要部分の削除、仮想地上面の作成を行い、体積値を試算した。Robert McNeel & Associates社製のRhino 5を用いて実施した。一例として、図11に木質系廃棄物、図12に廃家電の3Dモデル(a)と解析結果(b)を示す。



図 11(a) 木質系廃棄物の3Dモデル

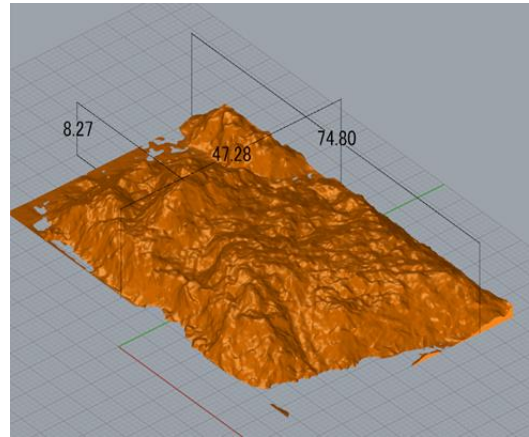


図 11(b) 木質系廃棄物の3Dモデル解析結果(単位:m)



図 12(a) 廃家電の3Dモデル

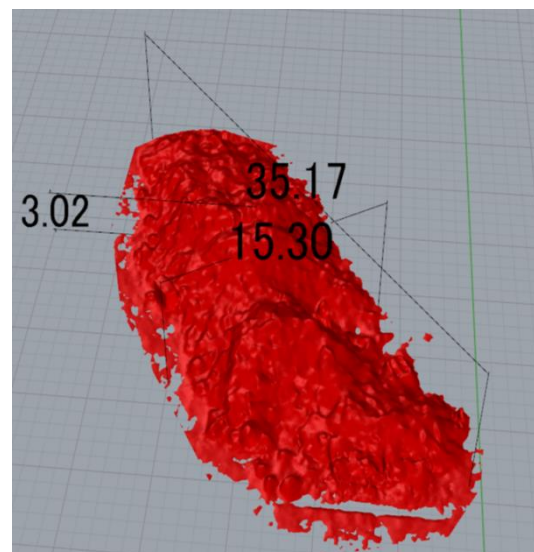


図 12(b) 廃家電の3Dモデル解析結果(単位:m)

4. 3 災害廃棄物仮置場における継続調査

(1) 西原村災害廃棄物仮置場における木質系廃棄物体積の継続的な計測

西原村仮置場のグラウンド1における木質系廃棄物の体積値、体積高さ、面積、推定重量について、表4に示す。いずれの計測においても堆積高さの最高点は7m以上であった。仮置場における可燃物の火災を予防するための堆積高さの指針(5m以下)を超えていたため、仮置場の西原村管理者に注意を促した。

8月半ばから木質系廃棄物の受入をグラウンド2に移動させて、グラウンド1の木質系廃棄物をチップ化しており堆積量が減少しているが、微小な体積変化も検知が可能であった。

(2) ドローンと平板測量による体積計測の比較

7月の計測において、グラウンド1の木質系廃棄物を対象に平板測量を実施し、ドローン撮影による3Dモデルと最高点、面積、体積の値の比較を実施した。その結果を表5に示す。災害廃棄物の体積誤差は1%以下と極めて小さい。なお、平板測量に基づく体積の値は5m間隔の測線から平均法で求めた値である。面積値に比較的大きな誤差が見られるが、3Dモデルを解析における地表

表4 仮置場の木質系廃棄物量の変化

調査日	項目(単位)	試算値	モデル
5月15日	最高点(m)	8.25	
	面積(m ²)	2,782	
	体積(m ³)	10,258	
	重量(t)*	5,642	
7月3日	最高点(m)	7.22	
	面積(m ²)	5,434	
	体積(m ³)	17,417	
	重量(t)*	9,579	
8月7日	最高点(m)	7.33	
	面積(m ²)	7,008	
	体積(m ³)	24,324	
	重量(t)*	13,378	
10月2日	最高点(m)	7.19	
	面積(m ²)	6,382	
	体積(m ³)	22,250	
	重量(t)*	12,238	

* 木くずの見掛け密度を0.55t/m³として算出

表5 ドローン(UAV)計測と平板測量との比較

調査日	項目(単位)	UAV計測	平板測量	誤差(%)
7月3日	最高点(m)	7.22	7.38	-2.2
	面積(m ²)	5,434	4,804	13.1
	体積(m ³)	17,417	17,275	0.8

面(底盤)の切り出しの影響を受けていると考えられる。ドローン撮影から作成した3Dモデルによる計測は、災害廃棄物の体積計測においては、平板測量を代替しうることが分かった。

5. おわりに

災害廃棄物発生量を推計する上で、過去の災害事例からの災害廃棄物発生原単位を蓄積することは重要であるが、発生原単位は公費(補助金)で処理された災害廃棄物量から算出された「処理原単位」であり、それ故に、災害によって異なる公費解体の対象範囲(特に、家屋基礎が対象か否かは処理量に大きく影響)を確認した上で活用しなければならない。

災害廃棄物の性状は、発災後からの時間の経過とともに変化する。発災直後からの数か月は片付けごみが主体であり、便乗ごみとも呼ばれる家屋に長年しまい込まれていた古い家電製品や家財道具等が混入する。仮設住宅やみなし仮設住宅が確保されてからは、家屋の解体が本格化し、災害廃棄物の主体は解体廃棄物となる。この様に、復興が進むに連れて災害廃棄物の性状が変化することから、過去の事業終了後の総災害廃棄物処理量から算出された発生原単位を用いて、災害廃棄物発生量を推定することは危険である。

熊本地震において公表された災害廃棄物発生量は、以下の様である。環境省が独自に推計した平成28年5月11日時点の暫定値は概ね100万t~130万tであり、その後、同年6月1日に約195万tへと上方修正された。また、平成29年3月末で公費解体の申請受付が終了されてことを受け、災害廃棄物処理実行計画が見直され、発災後1年以上を経過した同年6月、災害廃棄物発生量は約298万tと推計された。この様に、災害廃棄物発生推

計量は、実態が明らかになるに連れて大幅に修正されたが、筆者が視察した限りでは現場での大きな混乱は見られていない。その理由として、熊本地震では十分な面積の二次仮置場を確保できたことに加え、家屋解体及び解体廃棄物処理が軌道に乗るまでの約半年間に、発生量の実績値を踏まえながら対応されたことに依るものと推察している。

発災直後から数か月間の災害廃棄物が片付けごみが主体であるときは、過去の災害から得られた発生原単位を、その算出根拠を踏まえた上で活用すべきであり、また家屋解体が本格化してからは現場で得られる実績値をもとに、発生原単位を柔軟に見直して行くことが大切である。本稿でご紹介したドローンを用いたリモートセンシング技術は、迅速かつ正確に発生量（体積及び重量）を求めることが可能な技術であり、家屋解体廃棄物の処理や管理に大きく寄与できる技術であると考えられる。

最後に、今も避難されている皆様方のご健康と一日でも早い平常の生活に復帰されますことをお祈りし、筆を置きたいと思います。

引用文献

- 1) 環境省廃棄物・リサイクル対策部災害廃棄物対策室：「平成 28 年熊本地震」被災家屋における災害廃棄物の発生量，組成及び作業工程調査業務，報告書，2016.12
- 2) 島岡隆行：「災害廃棄物処理実行計画支援のための現地調査報告」，日本学術会議公開シンポジウム，第 3 回防災学術連携シンポジウム，熊本地震・一周年報告会，2017.4，http://janet-dr.com/07_event/event14.html
- 3) 島岡隆行：「ドローンを用いた災害廃棄物発生量の迅速かつ正確な計測手法」，九州地域づくり協会熊本地震関連助成事業，研究報告書，2017.5