

# 災害廃棄物処理実行計画の 基礎となる災害廃棄物発生量の 推計について

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、最優先されることは人命救助である。被災者の安全確保も、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。そのような中、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、被災者は一日でも早く平時の生活へ戻すべく、災害が沈静化するや否や住居の片付けを始めるため、不要となった家財道具、建具等の大量の片付けごみが一齐に排出される。片付けごみの排出速度は、余震が心配される震災に比べて、水害は極めて速い。

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。人間が生涯にわたり排出する廃棄物は、原単位1kg/人・日、寿命80年とすると、29.2t/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約50tと、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、迅速性と精度が求められる推計方法について述べる。

## 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、バックキャストにより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、資源化・最終処分のための搬出先等が計画される。

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(耐震基準や構造)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 =  $\Sigma$  (被害棟数(棟) × 発生原単位<sup>\*1</sup> (t/棟))

\*1 全壊116.9t/棟、半壊23.4t/棟、一部損壊4.7t/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 =  $\Sigma$  (被害棟数(棟) × 平均延床面積 (m<sup>2</sup>/棟) × 発生原単位<sup>\*2</sup> (t/m<sup>2</sup>))



**島岡 隆行 (しまおか たかゆき)**

1958年生まれ、京都府出身。1989年、九州大学大学院工学研究科博士後期課程水工土木学専攻修了。1991年、福岡大学工学部助教授、2001年より九州大学大学院工学研究院教授。土木学会副会長、廃棄物資源循環学会会長を務め、現在、NPO法人廃棄物地盤工学研究会理事長、(一財)九州環境管理協会副理事長。海外では、Univ. of New Hampshire、ハルビン工業大学、青島理工大学、同済大学の客員教授を務める。専門は、廃棄物資源循環学。主に、埋立廃棄物の生物・物理・化学・鉱物学的安定化及び物質移動に関する研究に従事する。災害廃棄物に関わったきっかけは1995年1月に発生した阪神淡路大震災で、被災直後から約2年間、6回にわたり、災害廃棄物の実態を調査した。博士学位を受けたアジア諸国からの多数の留学生は、母国の廃棄物問題に取り組んでいる。主な著書は、「資源循環再生学 (技法堂出版)」「災害廃棄物 (中央法規)」「東アジア環境学入門 (花書院)」。

※2 全壊木造0.70t/m<sup>2</sup>、RC造1.11t/m<sup>2</sup>、S造0.71t/m<sup>2</sup> (阪神淡路大震災の実績に基づく)

現在、環境省「災害廃棄物発生量の推計精度向上の方策検討会」で検討されている新たな発生量推計式を示しておく。

$$Y = X_1 \times a + X_2 \times a \times b + X_3 \times c + X_4 \times d \quad (1)$$

Y : 災害廃棄物量 (t)

X<sub>n</sub> : 被害棟数 (1 : 全壊、2 : 半壊、3 : 床上浸水、4 : 床下浸水)

a, c, d : 災害廃棄物発生原単位 (t/棟)

b : 半壊建物からのごみ発生率≒解体率<sup>※3</sup> : 0~0.5 (-)

※3 東日本大震災0.2 (処理実績より算出)、熊本地震0.5 (処理実行計画より算出)

$$a = a_1 \times A_1 \times r_1 + a_2 \times A_2 \times r_2 \quad (2)$$

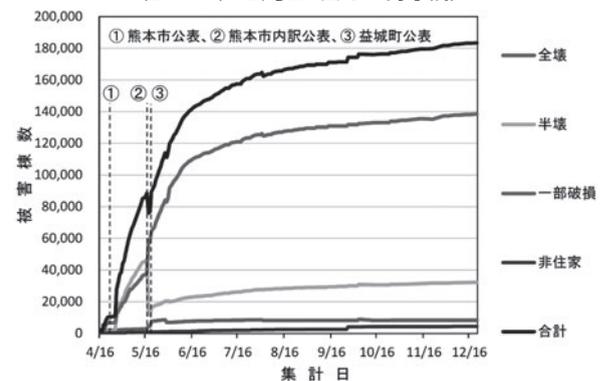
a<sub>1</sub> : 木造原単位 (t/m<sup>2</sup>)、a<sub>2</sub> : 非木造原単位 (t/m<sup>2</sup>)、A<sub>1</sub> : 木造床面積 (m<sup>2</sup>/棟)、A<sub>2</sub> : 非木造床面積 (m<sup>2</sup>/棟)、r<sub>1</sub> : 木造被害率 (-)、r<sub>2</sub> : 非木造被害率 (-)

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 (前震2016年4月14日、本震4月16日) においては、環境省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、100~130万tを公表した。被災状況の詳細は、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かった。建物被害棟数の変化が少なくなったのは、被災後8か月が経過した2016年12月頃である。

災害廃棄物の推計量は、災害に伴う発生総量ではなく、一般廃棄物として処理しなければならない災害廃棄物量 (要処理量) である。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) の対象範囲によ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、

図1 熊本地震における建物被害棟数の推移 (2016年12月21日まで掲載)



再建が遅れた要因とされた。東日本大震災、熊本地震では家屋基礎も公費解体の対象とされたものの、その後の糸魚川大火災（2016年12月発生）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、災害廃棄物の要処理量の迅速な推計を困難とする一要因である。

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ペストコントロールの観点から重要であり、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。

家屋解体に伴う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

先に述べたように、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）、塀・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。

#### (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。

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

図2 災害時の廃棄物対策、3つの柱

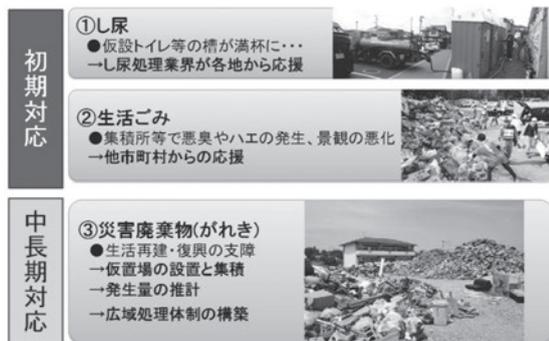


図3 災害廃棄物の処理フロー



図4 家屋解体の流れ



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、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斉に搬出する廃棄物（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100m<sup>2</sup>あたりの災害廃棄物発生量は41.6t/100m<sup>2</sup>となった。環境省が示す発生原単位117t/棟、延床面積100m<sup>2</sup>あたりの発生量70t/100m<sup>2</sup>と比べて、かなり小さな値となっている。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

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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> あたり発生量 (t/m <sup>2</sup> )	0.462	0.403	0.384	0.416
延床面積100m <sup>2</sup> あたり発生量 (t/100m <sup>2</sup> )	46.2	40.3	38.4	41.6

られる。表2は文献における延床面積100m<sup>2</sup>あたりの災害廃棄物発生量を示す。木造家屋の延床面積100m<sup>2</sup>あたりの災害廃棄物発生量は、平均で51.4tである。日本の木造家屋の平均延床面積はおおよそ100m<sup>2</sup>であることから、家屋解体一軒の発生量と読み替えられる。

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。

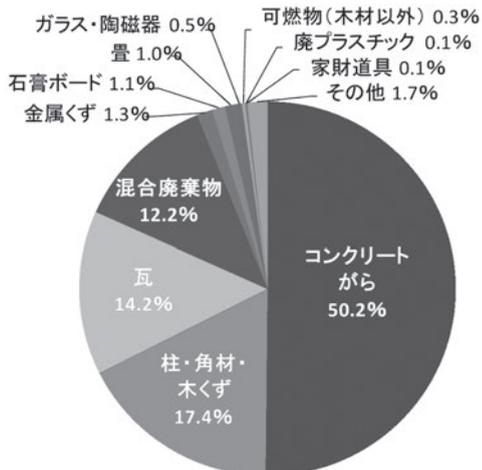
#### (4) 解体廃棄物の組成別単位体積重量

図6、図7に、ポ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

表2 各文献における延床面積100m<sup>2</sup>あたりの災害廃棄物発生量

文献等	延床面積100m <sup>2</sup> 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)



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0.16t/m<sup>3</sup>であった。震災対応ネットワークの0.26t/m<sup>3</sup>と比較すると0.10t/m<sup>3</sup>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1.33t/m<sup>3</sup>であったのに対して、震災対

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 <sup>3</sup> )				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ニフェストの普及について、環境省通知(H18.12.27 環産発第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。

応ネットワークでは0.79t/m<sup>3</sup>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、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。

#### 4 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。新潟県中越地震において計測された片付けごみの量は49.1t/棟であり、決して少なくない。

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。このように、復興が進むにつ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際に注意が必要である。

熊本地震において公表された災害廃棄物発生量は、以下のものである。環境省が独自に推計した2016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、2017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。最終的な災害廃棄物量は311万tであった。このように、災害廃棄物発生推計量は、実

態が明らかになるにつ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よ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片付けごみの発生原単位を、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り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。

今後は、北海道をはじめ降雪の多い地域では瓦が用いられない等、建築構造の地域特性や都市部の新規住宅には軽量材、不燃材、断熱材が多用される傾向にあること等、建築材料が災害廃棄物の発生量や組成に及ぼす影響を明らかにすることが重要である。

#### 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](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
- 4) 島岡隆行：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～、九州環境管理協会、環境管理、Vol.46、pp.3-11、2017
- 5) 環境省九州地方事務所：災害廃棄物の記録～平成28年熊本地震における災害廃棄物処理を振り返って～、2019.3