

〈論文〉

地図情報を用いた災害廃棄物の発生量予測と収集輸送計画

藤原 健史¹⁾, 中村 彰太²⁾¹⁾ 岡山大学廃棄物マネジメント研究センター
(〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 E-mail: takeshi@cc.okayama-u.ac.jp)²⁾ 浜松市役所
(〒430-8652 浜松市中区元城町103-2 E-mail: nakasyo7@mail.goo.ne.jp)

概要

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、岩手・宮城・福島の3県で約2,200万トンもの災害廃棄物が発生したと言われている。大量に発生した災害廃棄物は、速やかに仮置場へ移動させたり、選別と処理・処分を行う必要がある。それを効率的に進めるためには、災害発生後のなるべく早い時期に災害廃棄物量を正確に推計できることが不可欠である。そこで本研究では、住宅情報と被災マップをもとに、GISと画像処理を援用することによって市町村単位での災害廃棄物量を推計した。その結果、推計値は岩手県や環境省が報告している推計値と良い一致を示した。さらに、推計された廃棄物量を用いて、被災地と仮置場の距離から輸送適正度を評価し、輸送量も考慮して仮置場の適正度を評価する方法を提案した。

キーワード：災害廃棄物，東日本大震災，発生量予測，住宅・地図情報，画像処理

原稿受付 2012.7.31 原稿受理 2012.10.22

EICA: 17(4) 58-66

1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分に東北地方で発生した東日本大震災は、大規模な津波の発生を伴い、東北から関東にかけて広い範囲に未曾有の被害をもたらした。阪神大震災で発生したがれきの1.5倍にあたる約2,200万トンもの災害廃棄物を、岩手県・宮城県・福島県の3県で発生させたと言われる。

大規模な地震や水害が発生した場合には、人命救助やライフライン復旧の妨げになる災害廃棄物を排除することが最優先であり、続いてまちの復旧・復興のために廃棄物の収集や処理・処分が実行される。具体的には、仮置場を緊急に設置して撤去したがれきを選び込み、選別、解体、リサイクル等の減量化処理を行った後に、安全に処理・処分する。東日本大震災の場合、仮置場として被災地近くに小規模な一次仮置場と、アクセスの良い場所に前処理を行う大規模な二次仮置場が設置された。輸送面を考えると、両者とも被災地の近くに設置することが望ましい。しかし、三陸沿岸はリアス式海岸のため平野部が少なく、避難者住宅の用地確保が優先されたことから、仮置場として使える公共用地は少なく、岩手県では広場、公園、駐車場、学校の校庭などが仮置場として使用された。

災害発生後、被害の状況は時間とともに正確となり、自治体はその量や発生場所に応じて仮置場の配置を決め、処理と処分についての方針を立てた。そして、発

生量推計値をもとに処理計画書を作成し、政府へ対策費の申請を行い、予算が通ると重機・トラック、前処理施設、仮焼却施設などの手配や工事を行なった。このことから、早期に災害廃棄物の発生量を正確に推計することは重要である。

災害発生当初は現場に近づけないため、衛星写真や航空写真、ライブ映像などを利用して被災家屋を確認し、がれき量を推計することが有効である。東日本大震災の場合、日本地理学会東北地方太平洋沖地震災害対策本部が3月29日より「航空写真判読により作成した2万5千分の1津波被災マップ」¹⁾を公表し、その後、精度を上げるために追加、訂正した。本研究では、このような災害マップが公表された時点で、それをもとに災害廃棄物量を推計する手法を開発する。

平山は²⁾、詳細浸水図と浸水範囲概況図を用いて、1kmメッシュ上で浸水レベルを推計し、国勢調査地域メッシュ統計の世帯数より、浸水による被災世帯数の分布を推定し、各県の水害廃棄物量を推計した。この方法は迅速かつ広範囲に適用できる方法であるが、メッシュ内の世帯がすべてを同じ浸水レベルとすることによる誤差を生じる恐れがあり、また仮置場の選択や具体的な収集・処理計画の立案のためには災害廃棄物の発生場所をより正確に捉えることが望ましい。そこで本研究では、発生源と排出量をより正確に見積もるために、住宅地図を用いた災害廃棄物の推計方法を提案し、その方法を実際に市町村に適用した結果を示

す。

さらに、本研究では推計された廃棄物量を用いて、距離から輸送適正度を評価し、輸送量を考慮して仮置場の適正度を評価する方法を提案する。

2. 災害廃棄物発生量の推計

本研究では、画像処理を用いて被災地にある家屋を住宅地図から抜き出し、その面積と個数を数え、建物の構造や形態の違いから災害廃棄物の発生量を推計する方法を提案する。特徴は建物を1棟ずつカウントするため、倒壊数や建築面積から推計する災害廃棄物量が正確になることである。

具体的には、住宅地図を地理情報システム (GIS) 上で重ねて画像解析を行うことで、被災家屋棟数や被災家屋面積を算出し、さらに整理しなおした災害廃棄物の発生量原単位を乗じることにより災害廃棄物発生量を推計する。

2.1 廃棄物発生量の予測

航空写真や住宅地図から被災地域に相当する部分を切り出し、それらに対して画像処理を行うことで津波の被害を受けた家屋の面積や棟数を計算し、発生量原単位を用いて災害廃棄物の発生量を予測する。災害廃棄物の発生量推計フローの詳細を Fig. 1 に示し、以下に具体例を挙げて説明する。

- ①津波被災範囲の特定(津波被災マップ)
- ②建物情報の収集(住宅地図)
- ③地理情報の収集(GIS)
- ④画像解析
- ⑤建築面積の延床面積への変換
- ⑥災害廃棄物量の算出

Fig. 1 災害廃棄物の計算フロー

(1) 津波被害範囲の特定

3月29日より日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームが、津波の遡上範囲(浸水エリア)を赤色で、建物の全壊範囲(全壊エリア)を青色で塗り分けた白地図をインターネットにアップロードしたのでそれを利用した¹⁾。この津波被災地図の記載からはずれた部分や地図上の曖昧な部分については、衛星写真(Google Earth)や航空写真で確認しながら被害を補足した。Google Earthは震災後に被災地画像を頻繁に更新しており、津波被害を受けた場所と程度を確認することができた。

次に津波被災地図を500mメッシュに分割し、各メッシュについて廃棄物量を推計した。例として、岩手県大船渡市の津波被災地図を Fig. 2 に示し、対応する Google Earth の衛星写真を Picture 1 に示す。



Fig. 2 津波被災地図(大船渡市)¹⁾



Picture 1 津波被災地の衛星写真(大船渡市の Google Earth 写真)

(2) 建物情報の収集

次に被災家屋棟数、被災面積を算出するために、(株)ゼンリンの ZNET TOWN 住宅地図³⁾を用いて、津波被害を受けた建物の種類(一般家屋や公共物といった用途)と建築面積の情報を抽出した。ZNET TOWNは正確な家屋の形状と建築面積の情報を有し、建物の用途は「一般世帯・事業所」、「ビル・集合住宅」、「目標物(官公庁、学校など)」の3種類に色で塗り分けられている。

(3) 画像解析の適用

GIS上で津波被災マップと住宅地図を重ね、浸水範囲と全壊範囲にある家屋の部分地図を取り出した(Fig. 3)。住宅地図は建物が用途別に異なる色で着色されている。そこで、画像処理ソフト(日本ナショナルインスツルメント(株)NIvisionを使用)を用いて、ピクセル色の違う建物を検出し、検出した建物についてラベリング(独立したオブジェクトであることの認識と通し番号付け)の操作を行い、建物の個数をカウントするとともに、各建物の画像上のピクセル数を計算

した。これをピクセル面積と呼ぶことにする。抽出された建物を白で表示した画像を **Fig. 4** に示す。

次に、ピクセル面積に変換係数を乗じて実際の建築面積を次式から求める。

$$\begin{aligned} & \text{(建築面積)} \\ & = \text{(画像解析で得られたピクセル面積)} \\ & \quad \times \text{(変換係数: 0.10)} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、建築面積とは上空から建物を見下ろしたときに建物全体が占める面積である。画像中の1ピクセルに相当する実測の面積が 0.10 m^2 であったので、それを変換係数 ($\text{m}^2/\text{ピクセル}$) とした。



Fig. 3 切出した被災地の住宅地図³⁾ (大船渡市)

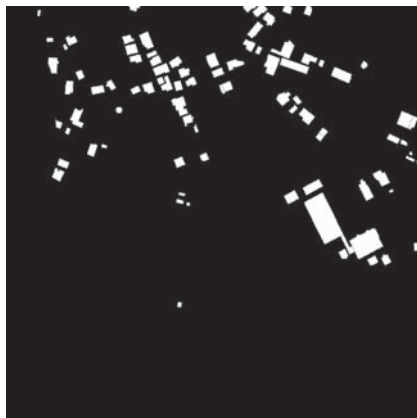


Fig. 4 住宅地図から建物オブジェクトの抽出 (大船渡市)

(4) 建築面積から延床面積への変換

画像解析で得られた建築面積を延床面積に変換する。住宅地図は建物の構造や階数の情報を含まない。がれきの発生量は一般に建物の延床面積に比例するため、建築面積から延床面積への変換係数を求める。これを面積比と呼ぶことにする。本研究では、「平成20年住宅・土地統計調査⁴⁾」の岩手県の建築統計を用いて、建物の構造(木造、非木造)と形態(一戸建て、共同住宅)に対する面積比を求めることにした。そのとき、

市部と町村部でそれぞれの面積比を求め、使用することにした。この面積比の求め方について以下に説明する。

まず、一戸建てについては、多階率と R_f という指標を導入した。多階率は一戸建て全戸数のうち二階以上の階数を有する戸数の割合とし、 R_f は一戸建ての一階床面積(建築面積と等しいとする)に対する二階以上の床面積の割合とした。この多階率は、建築統計データから市町村ごとに、木造と非木造について、値を計算することができる。一方、建築面積は県単位のデータしかないため、 R_f は市部と町村部で大きく変わらないと仮定し、県全体で求めた多階率を用いて式(2)により R_f を計算した。ただし、延床面積は木造/非木造別のデータはあるが建築面積にはないため、建築面積は構造によらず同じとした。

$$R_f = \{(\text{延床面積}/\text{建築面積}) - 1\} / \text{多階率} \quad (2)$$

そして、建築統計データ⁴⁾から市町村の一戸建ての多階率を求めて、次式により地域の延床面積を求める。

$$\begin{aligned} \text{延床面積} &= \text{建築面積} \times \text{面積比} \\ &= \text{建築面積} \times (1 + \text{多階率} \times R_f) \end{aligned} \quad (3)$$

次に共同住宅については、1階の床面積とその上の各階の床面積は変わらないとする。建築統計データから各市町村の共同住宅の平均階数を求め、その値に建築面積を掛けて延床面積とする。すなわち、共同住宅の面積比は平均階数と一致する。

$$\begin{aligned} \text{延床面積} &= \text{建築面積} \times \text{面積比} \\ &= \text{建築面積} \times \text{平均階数} \end{aligned} \quad (4)$$

県全体のデータから、 R_f 、平均階数、面積比を求めた結果を **Table 1(a)** に示す。

続いて、市部(釜石市、大船渡市)と町村部(山田町、大槌町)の市町村別の建築統計データ⁴⁾を用いて、市部と町村部の一戸建ての多階率を求めた。また、共同住宅の多階率には、各部の平均階数を代入した。 R_f は県全体の値を用いるとして、市部と町村部の面積比を求めた。結果を **Table 1(b)(c)** に示す。木造一戸建ては、町村よりも市の方に平屋が多い特徴が見られた。

最後に、住宅地図の建物分類に対して、構造と形態を **Table 2** のように設定して、面積比を確定した。

2.2 災害廃棄物発生量の推計

(1) 建物用途の分類

まず、建築用途を「一般家屋」、「事業所」、「集合住宅・アパート」、「商業ビル・オフィス・高層マンション

Table 1 面積比の計算

(a) 県全体

形態	多階率		Rf		平均階数		面積比 (-)	
	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造
一戸建	0.78	0.95	0.51	0.81	—	—	1.40	1.77
共同住宅	—	—	—	—	2.02	4.87	2.02	4.87

(b) 市部

形態	多階率		Rf		平均階数		面積比	
	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造
一戸建	0.68	0.94	0.51	0.81	—	—	1.35	1.76
共同住宅	—	—	—	—	2.02	3.71	2.02	3.71

(c) 町村部

形態	多階率		Rf		平均階数		面積比	
	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造	木造	非木造
一戸建	0.84	0.92	0.51	0.81	—	—	1.42	1.74
共同住宅	—	—	—	—	2.00	3.00	2.00	3.00

Table 2 用途別の構造、形態および面積比

建物種類	構造	形態	面積比	
			市部	町村部
一般世帯	木造	一戸建	1.35	1.42
事業所	非木造	一戸建	1.76	1.74
ビル・集合住宅	非木造	共同住宅	3.71	3.00
目標物(公共物)	非木造	共同住宅	3.71	3.00

ン」の4種類に設定した。住宅地図 (ZNET TOWN) における建築物の用途は「一般家屋・事業所」と「ビル・集合住宅」の2種類があるため、「一般家屋・事業所」の建物のうち建築面積が280 m²未満を「一般家屋」、それ以上を「事業所」とした。この280 m²の基準は、岩手県山田町の住宅について、実際に計算した建築面積並びに一般家屋と事業所の別(事業所は住宅地図に示される事業所名称から判断)から、一般家屋と事業所を分離する境界として判断した。「ビル・集合住宅」については、大きさや名称等から「商業ビル・オフィス・高層マンション」を先に定め、それ以外を「集合住宅・アパート」と分類した。

(2) 構造の分類

家屋に必要な強度を考えて、一般世帯は「木造」、事業所は「S造」とし、集合住宅・アパートは「S造(鉄骨構造)」, 商業ビル・オフィスビル・高層マンションは「RC構造(鉄筋コンクリート構造)」で代表させた。

(3) 被災率

被災マップに示された浸水範囲は全壊範囲も含めた範囲である。そこで、浸水範囲から全壊範囲を除いた範囲を「浸水みの範囲」と呼ぶことにし、全壊範囲にある建物はすべて「全壊」、浸水みの範囲にある建物は「半壊」とした。そして、建物ががれきに変わる割合を「被災率」とし、全壊では1.0、半壊では0.5と設定した。

(4) 災害廃棄物発生量原単位

津波や洪水で建物が破壊されてがれき類が多く発生する場合と、建物に大きな損傷はないが浸水で家財の廃棄物が多く発生する場合では廃棄物量が明らかに異なるように、災害廃棄物の発生原単位には幅がある。

わが国の水害廃棄物対策指針⁵⁾では、水害廃棄物量の発生量原単位を2t/棟で計算するとしている(平成17年6月)。平山ら⁶⁾は、過去の水害データをもとに、住家被害を考慮した災害廃棄物の発生量原単位(t/世帯)を全壊12.9、大規模半壊9.8、半壊6.5、一部損壊2.5、床上浸水4.6、床下浸水0.62としている。埼玉県川口市⁷⁾は、独自の調査により、床上浸水時の災害廃棄物量を床上浸水面積当たり5.3 kg/m²としている(0.516 t/棟)。

浸水の程度(浸水深)の情報が得られない場合には、全壊家屋からの廃棄物発生量を基準に原単位を考えざるを得ない。平山ら^{2,8)}は東日本大震災の廃棄物発生量について、詳細浸水図から津波被災世帯数を推定し、阪神・淡路大震災時の全壊家屋からの発生量原単位113 t/棟を用いて、岩手県全体の津波廃棄物発生量を550万tと推計し、その後、浸水深が明らかな地域については、浸水レベルに応じて上記の発生原単位を使って計算し532.8万tと修正した。

震災時の廃棄物発生量の原単位として、東京都⁹⁾は建物倒壊による廃棄物量を床面積当たりで木造家屋0.31 t/m², S造0.80 t/m², RC構造1.09 t/m²としている。兵庫県⁹⁾は、阪神・淡路大震災に伴って発生した災害廃棄物の調査から、木造家屋0.571 t/m², S造1.27 t/m², RC構造1.47 t/m²としている。また、高月ら¹⁰⁾は1995年の兵庫県西宮市の倒壊家屋の解体作業の知見から、木造家屋の発生原単位に基礎コンクリートや庭の立木、ブロック塀の一部を含めると木造家屋の原単位は床面積当たり0.71 t/m²としている。なお、震災時の廃棄物量推計方法は、その文献にまとめられている。

環境省は、平成23年4月の時点で、全壊・半壊家屋からのがれき発生量原単位をそれぞれ113, 61.2 (t/世帯)、延床面積あたりの原単位を0.40~0.62 (t/m²)として計算している。

本研究では以上のことを踏まえながら、提案した被害家屋推計の方法に対する発生量原単位の選択を、「木造」については基礎コンクリートを含んだ高月らの原単位を使用し、「S造」と「RC構造」については、東京都と兵庫県の原単位をそれぞれ採用し結果を比較することにした。以上をまとめてTable 3に示す。結果として、災害廃棄物の発生量は次の計算で求める。

Table 3 建物災害別床面積当たり廃棄物量係数

津波被害マップの区分		全壊範囲		浸水範囲	
被害の程度		全壊		半壊	
面積区分		280m ² 未満	280m ² 以上	280m ² 未満	280m ² 以上
一般世帯 事業所	用途	一般家屋	事業所	一般家屋	事業所
	構造	木造	S造	木造	S造
	発生原単位 [東京都](t/m ²)	0.71 (高月ら)	0.80	0.36 (高月ら)	0.40
	発生原単位 [兵庫県](t/m ²)	0.71 (高月ら)	1.27	0.36 (高月ら)	0.64
ビル 集合住宅 目標物	用途	集合住宅 (長屋) アパート	商業ビル 高層マン ション オフィスビル	集合住宅 (長屋) アパート	商業ビル 高層マン ション オフィスビル
	構造	S造	RC造	S造	RC造
	発生原単位 [東京都](t/m ²)	0.80	1.47	0.40	0.74
	発生原単位 [兵庫県](t/m ²)	1.27	1.47	0.64	0.74

※S造：鉄骨構造，RC造：鉄筋コンクリート構造

※半壊の原単位は全壊の原単位の半分とする

(水害廃棄物発生量)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{住宅地図から得られた建築面積}) \\
 &\quad \times (\text{面積比}) \\
 &\quad \times (\text{被災率}) \\
 &\quad \times (\text{災害廃棄物発生量原単位}) \quad (5)
 \end{aligned}$$

全壊範囲と浸水のみ範囲で算出した廃棄物発生量を各市町村で合計し、総発生量とした。

2.3 災害廃棄物発生量の推計結果

以上により計算した災害廃棄物量の結果を Fig. 5 に示す。野田村、普代村は他の市町村に比べて災害廃棄物の発生量が少なく、実際がれきの仮置場への移動も早い時期に完了している。全壊による災害廃棄物量が多くを占める山田町、大槌町、陸前高田市は、海岸に近い場所で建物が広範囲に破壊され流されている。

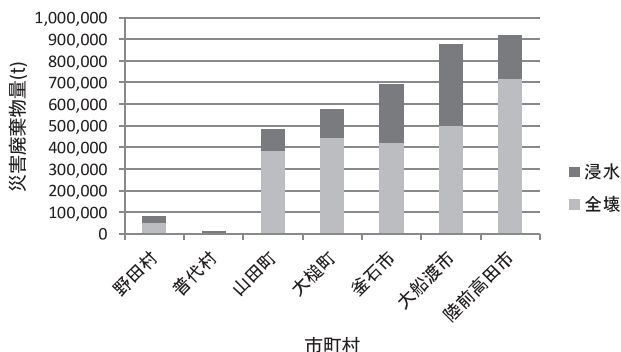


Fig. 5 自治体別の災害廃棄物量の推計値 (東京都ケース)

本推計結果と、岩手県¹¹⁾や環境省¹²⁾が発表している推計量を Table 4 において比較する。[A]は本研究で得られた推計結果，[B]は災害発生後の平成 23 年 8

月に岩手県が発表した災害廃棄物処理詳細計画の中で示された推計値，[C]は環境省が独自に衛星画像の浸水状況から推計した災害廃棄物量，[D]は環境省が平成 24 年 8 月までに自治体からの最新の報告値を集めたものであり，岩手県の場合は仮置場で測量した廃棄物体積などをもとに推計した値である。評価値として、それぞれの推計値を本研究の推計値[A]で割った値を示す。評価値が 90~110% の部分についてはハッチングした。

陸前高田市の推計値は，衛星写真から求めた[C] (1,482千t) と測量によって得られた[D] (987千t) に大きな差が生じている。他にも[C]と[D]で不一致が見られ，手法の違いで 10~20%，あるいはそれ以上の推計誤差が発生することが分かる。

まず，「S造」「RC構造」に東京都の発生原単位を用いたケースでは，推計値[A]は，災害廃棄物量の発生が少ない野田村と普代村を除いて推計値[B]と比較的良く一致している。同時に[A]は[B]が修正された[D]とも良く一致している。大槌町の場合は，[B]から[D]へ下げる方向に大きく修正されており，[A]は[B]と[D]の間にあることから推計値は[B]よりも推

Table 4 岩手県自治体別の災害廃棄物量推計値

[東京都ケース]

市町村	本方法 推計結果 (t)[A]	岩手県		環境省			
		平成 23 年 岩手県 推定量 (t)[B]	評価 (%) [B/A]	平成 24 年 災害廃棄物等 推定量 (t)[C]	評価 (%) [C/A]	平成 24 年 災害廃棄物 推定量 (t)[D]	評価 (%) [D/A]
野田村	83,141	139,700	168%	176,000	212%	138,000	166%
普代村	12,157	19,000	156%	11,000	90%	11,000	90%
山田町	484,161	359,000	74%	542,000	112%	499,000	103%
大槌町	577,682	668,600	116%	483,000	84%	337,000	58%
釜石市	693,414	589,900	85%	820,000	118%	560,000	81%
大船渡市	878,431	837,000	95%	756,000	86%	738,000	84%
陸前高田市	917,696	960,000	105%	1,482,000	161%	987,000	108%
合計	3,646,682	3,573,200	98%	4,270,000	117%	3,270,000	90%

[兵庫県ケース]

市町村	本方法 推計結果 (t)[A]	岩手県		環境省			
		平成 23 年 岩手県 推定量 (t)[B]	評価 (%) [B/A]	平成 24 年 災害廃棄物等 推定量 (t)[C]	評価 (%) [C/A]	平成 24 年 災害廃棄物 推定量 (t)[D]	評価 (%) [D/A]
野田村	96,450	139,700	145%	176,000	182%	138,000	143%
普代村	15,751	19,000	121%	11,000	70%	11,000	70%
山田町	569,063	359,000	63%	542,000	95%	499,000	88%
大槌町	677,630	668,600	99%	483,000	71%	337,000	50%
釜石市	872,172	589,900	68%	820,000	94%	560,000	64%
大船渡市	1,123,939	837,000	74%	756,000	67%	738,000	66%
陸前高田市	1,114,829	960,000	86%	1,482,000	133%	987,000	89%
合計	4,469,834	3,573,200	80%	4,270,000	96%	3,270,000	73%

[A] 本方法による推計値

[A] 本方法による推計値

[B] 岩手県災害廃棄物処理詳細計画 (平成 23 年 8 月 30 日) で示された推計値

[C] 環境省ホームページ「沿岸市町村の災害廃棄物処理の状況」(平成 24 年 8 月 30 日) に示された推計値

衛星画像を用いて浸水区域を特定し、これをもとに、環境省において津波により倒壊した家屋等の災害廃棄物量を推計したものの。

[D] 環境省ホームページ「沿岸市町村の災害廃棄物処理の状況」(平成 24 年 8 月 30 日) に示された推計値

岩手県が仮置場の測量による体積の把握、今後解体見込み量、処理処分実績等により算出したものを計上

計精度が高かったと判断される。普代村，山田町も同様である。

7市町村の合計値で推計値を比較すると，[B]の合計とほぼ一致し（評価 98%），[D]の合計が 90%，[C]の合計が 117% であり，良く一致している。

次に，「S造」「RC構造」に兵庫県の発生原単位を用いたケースでは，排出量推計値が東京都のケースより大きくなり，環境省による衛星画像を用いた推計値[C]に一致する傾向が見られるが，測量等による推計値[B][D]からは離れた結果となっている。[B][C][D]の全体の評価値はそれぞれ，80%，90%，73%であった。

両者を比較して，本研究の場合，東京都の発生原単位を用いた推計値の方が，精度が高いと考えられる測量等による推計値[D]を比較的良く表していることが明らかとなった。

3. 仮置場選択支援システムの構築

3.1 方法

災害廃棄物の初期には被災地の災害廃棄物を迅速に排除することが重要であり，そのために適切な仮置場を探すことが必要となる。そこで，本研究では 500m メッシュで推計した被災地の災害廃棄物発生量をもとに，GIS を用いて仮置場候補の位置を絞り込むための具体的な方法について検討した。Fig.6 にアプローチの概略を示す。対象は大船渡市とした。

- ① 仮置場候補地のスクリーニング
- ② 標高によるスクリーニング
- ③ 衛星写真によるスクリーニング
- ④ 仮置場適正評価関数によるスコアリング

Fig. 6 仮置場選定のための手順

(1) 仮置場候補地のスクリーニング

仮置場を設置する可能性のある場所を，アクセスの容易さや車両排ガスによる環境負荷から，被災地区画から 2 km 以内とした。メッシュの幅を 500 m としていることから，各被災区画から 4 メッシュの範囲が対象エリアとなる。次に標高については，高地は輸送負担が大きく，また浸出水による地下水汚染を避けることから，「標高 100 m 以下」とした。さらに，Google Earth の衛星写真を用いて，a) 民家が少なく，b) 十分な広さがあり，c) 急峻な土地ではなく，d) 田や畑として利用されていない区画を探した。球場や被災した工場跡地などを仮置場として利用した事例があるため，それらについても探した。なお，標高データとして，

国土交通省のホームページ内の国土政策局国土情報課の「国土数値情報 標高・傾斜度メッシュデータ¹³⁾」を利用した。

以上のスクリーニングによって最終的に選択された場所を Fig. 7 に示す。グレーは 2 km 以内，緑は標高 100 m 以下の区画，ピンクは衛星写真から適正と判断した区画を表す。

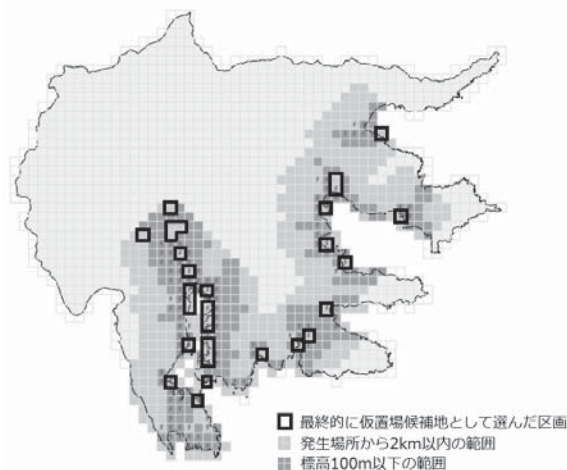


Fig. 7 仮置場の適正位置の絞り込み結果

(2) 仮置場の適正度評価関数の導入

一般に最適な輸送とは，輸送コスト（輸送量×距離）を最小にする輸送である。この場合，1 km 離れた 10 t の輸送と，10 km 離れた 1 t の輸送では，同じ評価点（輸送コスト）が与えられる。しかし，災害時にはごみを短時間で運び出すために短距離の輸送が優先され，仮置場はごみ量の多い被災地の近隣に設置すべきと考えられる。従って，距離が短い程高い評価が得られる評価関数を導入して，仮置場の位置を評価する必要がある。本研究では，スクリーニングした仮置場の候補地について，次に示す適正度を用いて評価することを考えた。

被災地区画（区画 i ）から仮置場候補地（区画 j ）までの距離を $x_{ij}(m)$ とするとき，輸送に適する距離の評価値を輸送適正度 λ_{ij} として次式で与える。なお，本研究では，東北の道路にカーブが多いため，地点間の距離に GIS で求めた実際の道路距離（区間中央が起終点）を用いる。

$$\lambda_{ij} = \exp(-\alpha \times x_{ij}) \tag{6}$$

Fig. 8 に距離 0 km の輸送適正度 1 に対し，基準距離（ここでは，被災地からの 2 km に設定）における輸送適正値 λ^* を 0.05, 0.1, 0.2 とした場合（ $\alpha=1.50, 1.15, 0.80$ ）の(6)式の曲線を示す。距離が短い程，輸送適正度は高く， λ^* が小さい（ α が大きい）ときは，

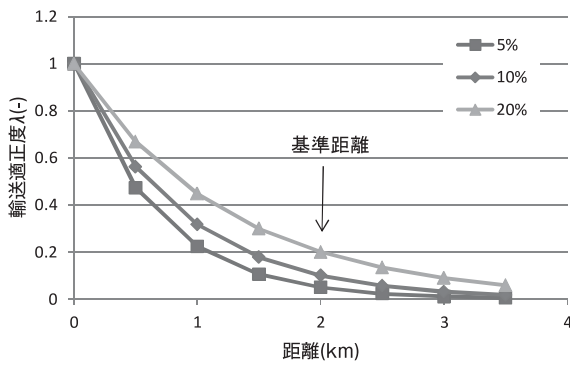


Fig. 8 輸送距離と収集適正度λの関係

曲線の曲率が大きくなり短距離輸送の得点が長距離輸送に比べて相対的に大きくなる。なお、曲線の距離0~∞の積分値に対する距離0~2 kmの積分値の割合は(1-λ*)であり、λ*が小さいほど基準距離以下での得点のウェイトが大きくなる。本研究では、2 kmでλ*を10%と設定した。

仮置場候補区画の適正評価値φ_jは、被災地区画(場所*i*)のがれき量をW_i(*t*)として、M個の各候補区画について、N個のすべての被災区画と次式を用いて計算する。値は廃棄物量の単位(*t*)となる。

$$\phi_j = \sum_{i=1}^N W_i \lambda_{i,j} \quad (j=1, 2, \dots, M) \quad (7)$$

この仮置場適正度を全ての仮置場候補地で計算し、値が大きい仮置場候補地が、候補地の中で相対的に適していることになる。基準距離における輸送適正度λ*を10%から変えれば、仮置場適正度も変わる。λ*を調整しながら、かつ仮置場候補地の貯留容量も考えながら、仮置場を選択することができる。と考える。

3.2 結果と考察

大船渡市を対象として評価した一例を Fig. 9 に示す。仮置場の候補区画を1つ指定すると、被災地区画



Fig. 9 輸送量と距離を考慮した仮置場の評価値 (メッシュ内の数字は評価値で大きい程着色)

から候補区画への輸送適正度を計算し、それに持ち込むがれき量を掛けて、結果を被災地区画の色の濃淡で表す。

青い区画は評価対象となる候補地区画を表す。周りの区画の数字は計算された輸送適正度を表し、赤色が濃いほど高いことを表す。赤色が濃くなるほど、その区画から青い区画へがれきを移動させることのメリットが大きいことを表す。例えば、Fig.9において仮置場候補区画のがれきはもちろんのこと、左隣の赤く表示されている区画から多くのがれきを受け入れるべきであることを示唆している。候補地から少し離れて赤く表示されている区画は、少し離れているにも関わらず、がれき量が多いためその仮置場まで持ってゆく可能性があることを示唆している。このように、各仮置場に関して、周辺からのがれき運搬を検討することができる。

実際の仮置場の選定は、ごみを貯留できるかどうかや、アプローチするための道路の状況、そして仮置場として利用することの地域住民の了解など、問題をクリアしなければならない条件があるが、提案した方法は、候補地を探し出し選定する手助けになると考える。特に候補地が多い場合に、本手法は選択のための最初のスクリーニングに使えると考える。

4. おわりに

本研究では、災害廃棄物の発生源と排出量をより正確に見積もるために、住宅地図を用いた災害廃棄物の推計方法を提案し、その方法を東日本大震災および津波の被害を受けた岩手県の市町村に適用した結果を示した。具体的には、全壊や浸水の地域を示した地図が発表されたときに、住宅地図と組み合わせることで被災エリアの建物情報を抽出し、画像解析を行なうことで被災家屋の位置と建築面積を求めた。得られた各戸について建築面積を延床面積に変換し、建物用途と構造に合わせて整理した災害廃棄物発生原単位を掛け合わせて、災害廃棄物量を推計した。

さらに、推計された廃棄物量を用いて、距離から輸送適正度を評価し、輸送量を考慮して仮置場の適正度を評価する方法についても提案した。大船渡市を例に500 mメッシュの各区画について、被災地までの距離や標高、周辺や場所の条件をもとにスクリーニングし、区画と被災地の距離と輸送量を指標とした評価関数を置くことによって、仮置場の設置候補地の選定する方法を示した。

本研究の成果をまとめると以下のようなになる。

- 1) 住宅地図を用いて被災建物の建築面積を画像処理により求める方法を提案した。
- 2) 建築面積から延床面積への変換係数を、2階以

上の建物の割合（多階率）と2階と1階の床面積比 (Rf) を用いて自治体ごとに求める方法を提案した。

- 3) 建物の用途と構造の違いを考慮して、災害廃棄物の発生量原単位を整理した。
- 4) 岩手県や環境省が報告している推計値と比較して、本推計方法の精度を評価した結果、市町部では比較的高い精度で推計することが分かった。
- 5) がれきの発生場所と仮置場の距離を評価する指標として輸送適正度を定義した。また、輸送量をも含めて仮置場の適正度を定義した。
- 6) 視覚的に見せる仮置場選定支援システムを試作した。

本研究で推計していない廃棄物量に、海へ流出した廃棄物量と海から陸に上がった堆積物量がある。また、本研究で用いた災害廃棄物発生量原単位は建物のみであるが、実際には津波で破壊された電信柱や信号機、橋、アスファルトなどの社会インフラや農地や山林から発生する廃棄物、漁網などもある。それぞれの量についても推計に加えてゆく必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたりご協力頂きました岩手県庁の佐々木秀幸様、岩手大学の颯田尚哉教授、協力してくれた学生の濱田智史君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム, 2011, 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ 2011年完成版 : http://www.ajg.or.jp/201103_Tohoku-eq.html, 2012/9 現在
- 2) 平山修久: 0311 東北地方太平洋沖地震における津波廃棄物発生量の推定結果について <http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/report/2011/03/001341.html>, 2012/9 現在
- 3) ㈱ゼンリン ZNET TOWN ホームページ : <http://www.zenrin.co.jp/product/gis/znettown/index.html>, 2012/9 現在
- 4) 住宅・土地統計調査 : http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001028768&requestSender=search,e-Stat 政府統計の総合窓口, 2012/9 現在
- 5) 環境省: 水害廃棄物対策指針, 2005
- 6) 平山修久, 河田恵昭: 水害時における行政の初動対応からみた災害廃棄物発生量の推計, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp. 29-36, 2005
- 7) 川口市災害廃棄物処理計画 : <http://www.city.kawaguchi.lg.jp/kbn/28050170/28050170.html>, 2012/9 現在
- 8) 平山修久, 奥村与志弘, 河田 恵: 2011年東日本大震災における津波廃棄物発生量の推定, 第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 137-138 (2011)
- 9) 島岡隆行, 山本耕平編, 廃棄物資源循環学会監修(2009): 廃棄物資源循環学会シリーズ③災害廃棄物, 中央法規.
- 10) 高月 紘, 酒井伸一, 水谷 聡: 災害と廃棄物性状——災害廃棄物の発生量原単位と一般廃棄物組成の変化——, 廃棄物学会誌, Vol. 6, No. 5, pp. 351-359 (1995)
- 11) 岩手県, 岩手県災害廃棄物処理詳細計画(案), 2011/8/30
- 12) 環境省: 被災3県沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況, <http://www.env.go.jp/jishin/shori120907.pdf>, 2012/9 現在
- 13) 国土交通省国土政策局国土情報課 GIS ホームページ 国土数値情報ダウンロードサービス : <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, 2012/9 現在

- 1) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム, 2011, 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マッ

Estimation of Tsunami Disaster Waste Amount and Location Planning of Temporal Stockyard by Map Information

Takeshi Fujiwara¹⁾ and Syota Nakamura²⁾

¹⁾ Waste Management Research Center, Okayama University

²⁾ Hamamatsu City Office

Abstract

The amount of disaster waste caused by the Great East Japan Earthquake in March 11th, 2011 was estimated at 22 million tons generated in Iwate, Miyagi and Fukushima prefectures. The huge amount of disaster waste must be transported to temporal stock yards quickly, and after that, separated and treated/disposed. To launch such countermeasure activities as soon as possible, it is crucial to estimate the amount of disaster waste accurately in the early stages after occurrence of the disaster. In this study, we proposed a method to estimate the amount of disaster waste using digital house map and disaster region map, by using GIS and image processing. As a result of estimation of the disaster waste generated in 2 villages, 2 towns and 3 cities along the sea shore of Iwate prefecture, it was found the accuracy of estimation is enough acceptable level. Moreover, we proposed a method to evaluate appropriate location of temporal stockyards based on distribution of estimated disaster waste in the city area. In this approach, a suitability index to evaluate the transportation distance between the disaster site and the location of stockyard candidate was defined, and a total index to choose appropriate location of stockyard by taking into account the disaster waste amount around the stockyard was also defined.

Key Words : disaster waste, the Great East Japan Earthquake, estimation of waste generation, house and geographical map, image processing