(64) 災害廃棄物処理の初動支援を目的とした発生量・空間分布・組成の推定システム

田内　裕人[1]・酒井　崇之[2]・大塚　義一[3]・中野　正樹[4]

[1]正会員　和歌山大学　システム工学部　講師（〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930）
E-mail: tanouchi@wakayama-u.ac.jp

[2]正会員　名古屋大学大学院　工学研究科　助教（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区）
E-mail: t-sakai@civil.nagoya-u.ac.jp

[3]正会員　株式会社　奥村組　（〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2）
E-mail: yoshikazu.otsuka@okumuragumi.jp

[4]ﾌｪﾛｰ会員　名古屋大学大学院　工学研究科　教授（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区）
E-mail: nakano@civil.nagoya-u.ac.jp

本研究では，被災直後の災害廃棄物処理を円滑化し，迅速な復旧復興を成し遂げることを目標とし，災害廃棄物の組成・量・空間分布をできる限り自動で算出できる GIS の機能開発を実施した．本システムでは，被災後速やかに入手できる浸水推定図(GIS データ形式の浸水マップ)を入力するだけで，被災市町村の災害廃棄物の発生予測が可能である．本システムは著作権フリーのデータと Python ライブラリで構築されており，一般的なコンピュータを準備するだけで誰でも使用することが可能である．本システムを豪雨災害で被災した 2019 年の長野県長野市および 2020 年の熊本県人吉市に適用した結果，解析の高速性と，災害廃棄物の発生量，組成，空間分布の妥当性が確認できた．以上の理由から，本システムは地方自治体の災害廃棄物処理の実行計画策定を支援できるものと考えられる．

Key Words: *GSI inundation map, disaster waste, flood disaster, disaster recovery, affected area mapping*

1. はじめに

近年多発する豪雨災害では災害廃棄物が瞬時に発生し，処理に多くの費用と時間を要する．被災地に災害廃棄物が長期間放置されると，大規模な不法投棄など環境破壊の要因にもなる．こうした理由から，被災地の災害廃棄物の発生量・性状およびその空間分布を速やかに把握する研究が行われてきた．例えば，災害廃棄物を被災直後に住民の手によって搬出される片付けごみと，建物の解体に伴い発生する解体ごみに分け，それぞれの発生量を被災棟数情報から算出する手法が提案されている [1]．解体ごみの算定を行う際に解体が行われる建物の割合（解体率）をかけるなどの工夫が行われており，現実に近い値を算出可能な手法である．一方で，建物の被災棟数は統計情報であり厳密な位置情報に基づかないため，災害廃棄物発生場所の厳密な特定はできない．これを把握する手法としては，5 次メッシュ(概ね 250m グリッド)レベルの空間解像度で被災建物数を概算し，災害廃棄物の発生原単位をかけて災害廃棄物発生量を予測する手法が提案されている [2]．本手法では国土地理院の浸水推定図 [3] を災害外力データとして利用しており，速報性にも優れている．一方で，災害廃棄物の発生量のみに着目しているため，土砂混合の状況や廃家電・有害物の発生状況など詳細な性状はわからない．Tanikawa et. al., 2014 では災害廃棄物の性状と建物位置の厳密性に着目した解析を行っている．この手法では延床面積や建物構造などの詳細な情報が含まれるポイント型 GIS の建物データを入力に，津波浸水時の床面積当たりの災害廃棄物発生原単位を個別建物の延べ床面積に掛け合わせ災害廃棄物発生量を算出する [4]．厳密な空間情報，廃棄物の性状を含む詳細な予測が可能であるが，建物データに高価かつ著作権の制約が厳しいものを使用しており，同手法で災害直後に地方自治体が自由に解析することはできない．

本研究では，以上の各研究における課題を克服し，各被災自治体が，災害発生直後に災害廃棄物の組成・量・空間分布を予測できるシステムを提案・開発する．

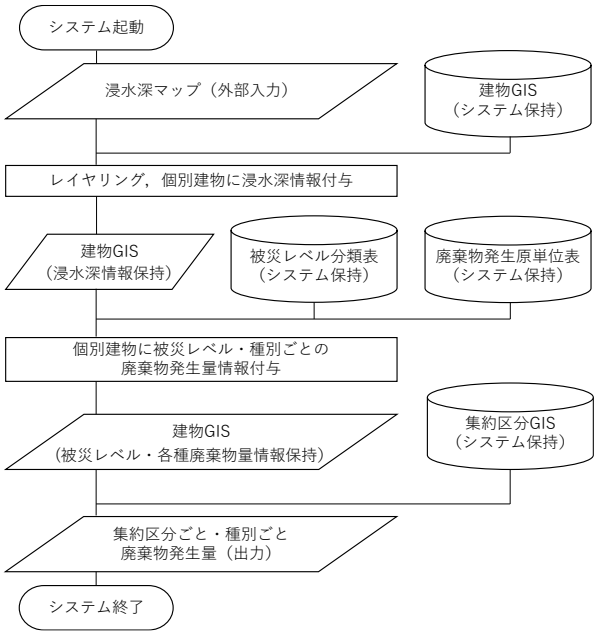


図-1　提案システムでの災害廃棄物の発生量・空間分布・組成の計算フロー

2. システム設計

図-1 は提案システムのフローを示す．システムには，厳密な位置情報をもつ日本全国の建物 GIS ポイントデータ，被災レベル分類表，1 棟ごとの廃棄物発生原単位表および集約区分 GIS をデータベースとして保持する．使用者は，解析したい市町村を選んだ後，国土地理院が速報する浸水推定図 [3]を入力する．浸水推定図は，被災した自治体職員が国土地理院に使用申請を行うと，位置情報付きの画像(TIFF 形式)として直ちに入手可能である．浸水推定図は当該市町村の建物 GIS ポイントデータと自動で重ね合わせられ，各建物の浸水深が算出される．次いで，各建物の浸水深を被災レベル（全壊：1.8m以上，半壊：1.0m～1.8m，床上浸水：0.3m～1.0m，床下浸水：0.1m～0.3m，被災なし：0.1m 以下）に自動変換される．この各浸水深の値については今後，さらなる検討の余地があることに注意されたい．次に，先行研究 [5),6)]を参照し作成した，被災レベルと各種災害廃棄物発生原単位の関係（**表-1**）から，各建物，種類ごとの災害廃棄物発生量を算出する．なお**表-1** は木造建築物の原単位であり，本研究では鉄筋コンクリートなど構造による原単位の差異については考慮していないことに注意されたい（後述）．最後に，算出した廃棄物発生量を空間的な集約区分ごとに集約し，表形式と地図形式で出力する．

上述のフローであるため，本システムのユーザーが自ら準備する入力情報は浸水推定図のみであり，その他の情報はすべてシステムデータベースに含まれる．このため，ユーザーは煩雑な作業を行わずに災害廃棄物の組成・量・空間分布を知ることが可能である．

表-1　提案システムにおける廃棄物発生原単位表

区分	組成詳細（品種）	全壊 [t/棟]	半壊 [t/棟]	床上浸水 [t/棟]	床下浸水 [t/棟]
片付け・解体	可燃物	14.50	2.90	1.95	0.31
	不燃物	12.40	2.50	1.95	0.31
	コンクリートがら	19.00	3.80	0.00	0.00
	金属	1.80	0.40	0.00	0.00
	木	17.20	3.40	0.00	0.00
	畳	0.20	0.10	0.10	0.00
	思い出の品	0.01	0.00	0.00	0.00
	処理困難物	2.10	0.40	0.00	0.00
大型家電	テレビ	0.03	0.03	0.00	0.00
	冷蔵庫	0.11	0.11	0.11	0.00
	洗濯機	0.03	0.03	0.03	0.00
	エアコン	0.32	0.24	0.16	0.00
その他家電合計		0.09	0.05	0.00	0.00
自動車		0.9	0.2	0.2	0
土砂		8.14	4.26	0.52	0.07

(1)　建物 GIS ポイントデータ

本研究で建物 GIS ポイントデータに求められる性能は，①住宅(家屋)とそれ以外の建物のどちらかであるかが判別できる，②建物の構造を木造とそれ以外（鉄筋コンクリート造や鉄骨造など）に分離できる，③全国の情報が、無料または安価に入手できる，④著作権フリーまたは不特定多数の使用が可能である，の 4 点である．これら条件を満たすものを検討した．そして，ESRI 社の ArcGIS Geo Suite 詳細地図の建物情報を利用することとした．日本国内全域のポリゴン型の建物情報も収録されており，建物は堅ろう・高階層な目標物(集合住宅含む)と一般家枠(主に一戸建と長屋建)に分類されているため，①を満たす．また有償データではあるものの，日本全国でも 30 万円となっており，加工後のデータについては著作権の制約があまりなく，③，④も満たす．欠点としては，堅牢な団地やマンションなどの集合住宅は住宅としては集約されておらず，店舗・工場などの区分になるため，②は満たさない．一方，こうした堅牢な構造物は浸水により解体に至ることが少なく，災害廃棄物の発生に対する寄与は限定的と考えることも可能である．本研究では，この建物データを各ポリゴンの重心点に加工し，建物 GIS ポイントデータとして用いた．

(2)　集約区分

廃棄物の処理計画を策定・実行する上で，行政区分に基づき収集計画などを立てることが想定される．このため，建物ごとに計算した災害廃棄物発生量を行政区分やより細かなサイズのメッシュに集約・マッピングする機能を開発した．行政区分としては，最小単位にあたる大字ごとの発生量集約ができるようにした．メッシュ形式での集約は，一般に大字よりも小さな 5 次メッシュでの集約とした．大字・5 次メッシュの原典データとして，e-Stat [7)]の小地域（町丁・字等別）データと 5 次メッシュポリゴンを使用した．

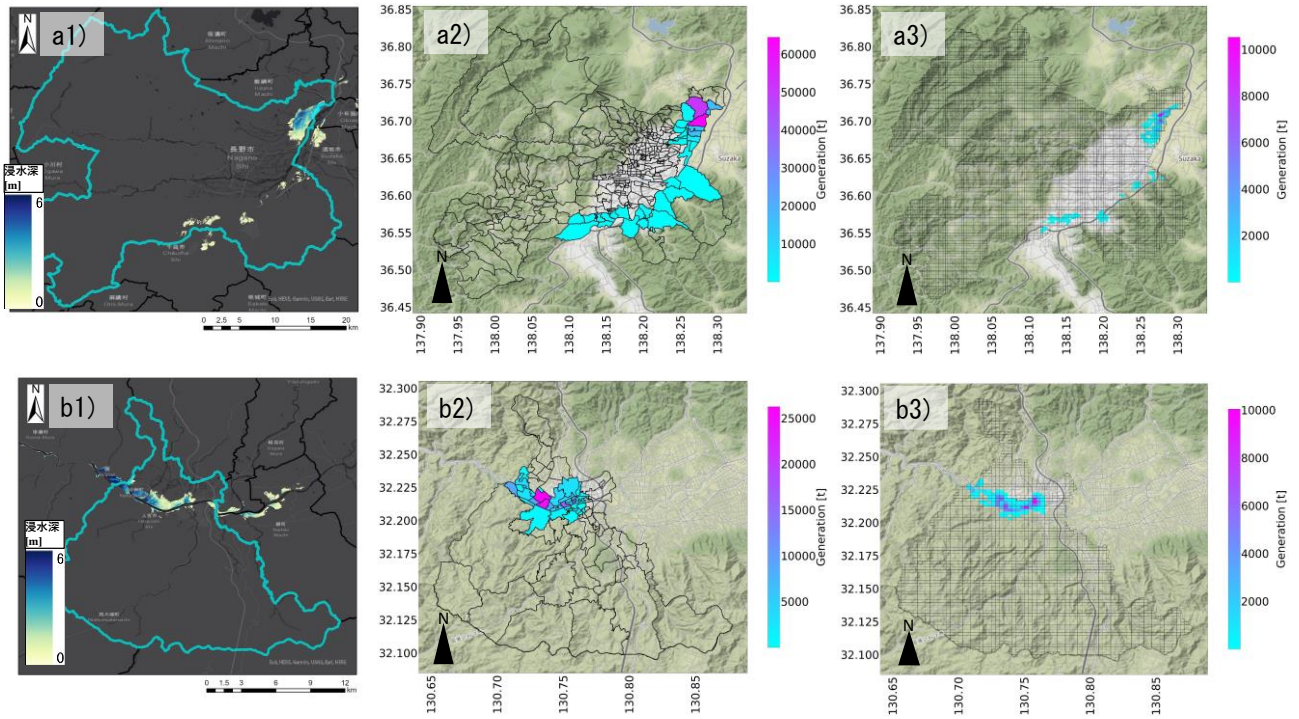


図-2　長野市：a1)～a3)と人吉市：b1)～b3)における浸水推定図，大字ごと・5次メッシュごと災害廃棄物発生量

(3)　機能実装及びその環境

本システムはOS: Windows 11内にAnaconda開発環境を構築し，GDAL，fiona，geopandas，rasterioおよびcontextilyの5つのGISライブラリとpandas, numpy, matplotlibの3つの基本ライブラリを用いてPython 3.10で実装した．GDAL，rasterioは画像形式のGISデータを扱う機能をもち，浸水推定図の読み込みと廃棄物発生分布の計算で使用した．Fiona，Geopandasはポイントやポリゴンといったベクター型のGISデータ解析機能をもち，主に建物ポイントや集約区分を用いた空間解析とマップ描画で使用した．Contextilyはフリーのオープンストリートマップで背景描画を行う際に使用した．pandas, numpy, matplotlibは，発生量予測などの基本的な計算で使用した．これらはすべてフリーで入手可能である．ハードウェア環境はCPU：Intel Core i7-12700F，メモリ:64GB，GPU：NVIDEA GeForce RTX 2070 Superを搭載したデスクトップPCである．本PCは解析能力が比較的高いものの，一般的・汎用的なものである．以上のソフト・ハード環境から，本研究のシステムは，自治体が所有するPC環境などへの移植も容易に可能であるといえる．

3.　実災害への適用とシステム検証

本システムを詳細な記録が残る令和元年東日本台風の長野県長野市と，令和2年7月豪雨の熊本県人吉市それぞれの河川氾濫災害に適用し，妥当性を検証した．ここでは，本システムで予測した災害廃棄物の質・量・空間分布を，災害廃棄物処理の実績と比較を行った．また，解析時間に関する考察もあわせて行った．

図-2は，両災害における浸水推定図の浸水深，大字ごとおよび5次メッシュごとの災害廃棄物発生量を示す．災害廃棄物の種別ごとの描画も可能であるが，本稿では紙面の都合から災害廃棄物の合計発生量のみを示した．浸水深が大きなエリアで災害廃棄物発生量が大きくなるという一般的な結果が得られていることがわかる．

表-2は，本システムで計算した災害廃棄物の市内合計発生量，実測発生量を示す．長野市においては，廃棄物発生量の実績発生量が約21万t[8]であったのに対し，推定値は約17万5000tで，17%ほど過小評価した．特に不燃物の過小評価が著しい．一方，可燃物，コンクリートがら，金属，木といった種別では過大評価が生じている．不燃物で過小評価を起こした理由は，分別困難な可燃物などが不燃物として処理されたためではないかと考察される．人吉市では，合計発生量の推計値が17万1000tとなった．人吉市では廃棄物発生量の実測値を直接入手できなかったが，熊本県全体における災害廃棄物発生量が39万tであり，熊本県全体での被災家屋数7815棟のうち，約43%の3400棟が人吉市に属していた[9]ことから，発生量も43%の17万t程度と推察した．この値に対する推計値17万1000tはほぼ同値となる．これらの結果から，本システムは災害廃棄物発生量を正しく予測可能か，やや過小評価する傾向があるという結論づけた．

長野市で特に被害が大きかった長野盆地北東部（長沼

表-2　災害廃棄物の発生量の予測と実測

区分	種別	長野市（実測）	長野市（推計）	人吉市（推計）
片付け・解体	可燃物	10,187	34,084	32,403
	不燃物	116,910	29,611	27,962
	コンクリートがら	21,000	40,633	40,405
	金属	1,300	3,886	3,877
	木	4,400	36,747	36,528
	畳	413	626	577
	思い出の品	-	20	19
	処理困難物	-	4,473	4,441
大型家電	テレビ	27,474	86	93
	冷蔵庫		473	428
	洗濯機		129	117
	エアコン		1,074	1,022
その他家電			222	231
自動車		-	2,229	2,094
混合物		6,000	-	-
土砂		24,120	20,619	20,972
合計		211,804	174,913	171,168

地区・豊野地区）において，5 次メッシュの災害廃棄物発生量と不法投棄現場（勝手仮置場）の位置的な関係に着目し，災害廃棄物の空間分布の妥当性を検討した（**図-3**）．不法投棄は被災地から廃棄物を搬出できない場合に発生するため，勝手仮置場は被災地近傍に発生する傾向が強いと考えられるが，本解析の結果，廃棄物が大量発生した地区と勝手仮置場の位置が概ね一致しており，廃棄物発生場所の予測は妥当と考えられた．

本システムは，建物数・集約区分数（面積に比例）の積の回数の繰り返し計算を行うため，計算時間もこれに比例する．長野市の戸建棟数は約 179,000 棟，面積 834.8km^2 であり，全国の 1043 の市町村（区部に分割される政令指定都市を除く）のうち 33 位および 52 位 [7]で，大規模かつ計算負荷の大きな市町村の一つである．本システムでの解析時間を観測した結果，150 秒程度と小さな値をとった，本システムは様々な市町村での迅速な災害廃棄物予測に適用可能な，十分に高速なものであるという考察が得られた．

4. むすび

本研究では，個別建物の位置と廃棄物の組成を考慮した災害廃棄物の早期発生量予測システムを開発した．本システムを長野県長野市と熊本県人吉市に適用し，出力された結果を災害廃棄物処理実績と比較した結果，災害廃棄物の発生総量・組成・空間分布を精度よく予測できることがわかった．解析に要した時間は最大規模の長野市で 150 秒程度以下であり，本システムは被災直後のできる限り早く災害廃棄物の発生状況を知りたい状況下においても，迅速にこうした状況を出力可能なものであることがわかった．

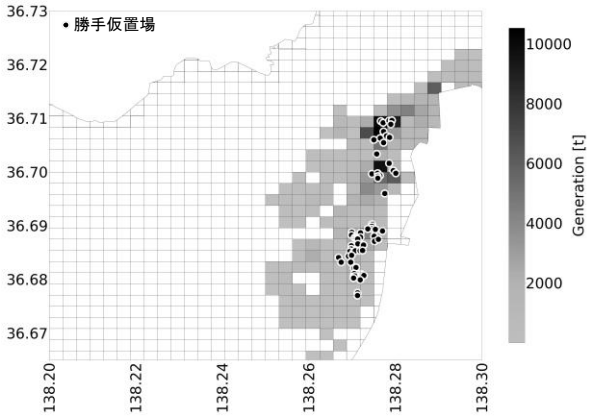


図-3　長野盆地北東部の災害廃棄物空間分布と勝手仮置場

謝辞：本研究は独立行政法人環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20201004)により実施した。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

1) 石井隼，池内幸司：住家被害情報と住宅統計情報を用いた水害廃棄物発生量推計手法．*土木学会論文集 B1（水工学）*，Vol.76，No.2，l_1447-l_1452，2020.
2) 平山修久，中村晋一郎，福和伸夫，野村一保：災害初動期における浸水推定図を用いた災害廃棄物量の推定手法，第 31 回廃棄物資源循環学会研究発表会，講演原稿 2020，pp. 105-106，2020.
3) 吉田一希：平成 30 年 7 月豪雨における浸水推定図の作成　－SNS と DEM を活用した災害時の浸水範囲と浸水深の推定－，*写真測量とリモートセンシング*，Vol.60，No.6，pp.323-326，2021.
4) Tanikawa Hiroki, Managi Shunsuke and Lwin Myo Cherry : Estimates of Lost Material Stock of Buildings and Roads Due to the Great East Japan Earthquake and Tsunami, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.18, No.3, pp.421-431, 2014.
5) 田畑智博，張欧，山中優奈，蔡佩宜：統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用，*土木学会論文集 G（環境）*，Vol.71，No.6，pp.II_441-II_449，2015.
6) 環境省：災害廃棄物対策情報サイト - 災害廃棄物等の発生量の推計方法-，<http://kouikishori.env.go.jp/>，(入手 2023.1.27).
7) 総務省：e-Stat 政府統計の総合窓口，<https://www.e-stat.go.jp/>, (入手 2023.5.29).
8) 中嶋隆夫：令和元年東日本台風における災害廃棄物処理について，*令和 2 年度災害廃棄物対策シンポジウム*．<http://kouikishori.env.go.jp/action/d_waste_net/pdf/symposium_210113_lecture_05.pdf>, (入手 2023.5.29).
9) 熊本県：令和 2 年 7 月豪雨に関する被害状況，<https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/4/74612.html>, (入手 2023.5.29).