【特集：震災廃棄物処理特集(1)】

東日本大震災における災害廃棄物量の推定と災害対応

平山修久*・河田恵昭**・奥村与志弘***

【要旨】 津波災害では、津波廃棄物対策・処理システムは災害初動期から復旧・復興でのさまざまな災害対応や市民生活状況と関連するものであり、環境衛生面での安全・安心を供与する都市インフラである。この津波廃棄物に対する対応計画策定システムにおける、初動時での津波廃棄物発生量の推定手法を示す。そのうえで、災害初動時より災害廃棄物マネジメントを構築するという観点から、東日本大震災での津波廃棄物発生量の推定を行った。その結果、津波廃棄物発生量は、東日本の被災6県で合計約2,700万tonと推定された。また、被災市町村の災害対応力からは、宮城県では16.5年、岩手県では11.7年と、平常時のごみ総排出量の10年分以上の津波廃棄物が発生しており、これは被災自治体の対応力を超えた津波災害であり、広域連携等の対応が求められる国難ともいえるスーパー広域災害であることを示した。

キーワード： 津波災害、津波廃棄物、発生量測定、災害廃棄物マネジメント、ICS

1. はじめに

2011年3月11日14時46分頃、東北地方太平洋沖を震源とする深さ24km、MW 9.0の2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東日本大震災）が発生した。この地震による地震動で、上下水道をはじめとする都市インフラが広範囲に被災するとともに、この地震により発生した津波が、青森県から千葉県に至る東日本太平洋沿岸地域に襲来し、わが国が近代文明国家として発展して以来経験したことがない国難ともいえるべき未曾有の被害を生じるスーパー広域災害となった。

本稿では、津波災害時における災害初動期から復旧・復興でのさまざまな災害対応や市民生活状況と関連する災害廃棄物対策において、その対応計画策定システムにおける初動時での津波廃棄物発生量の推定手法と、東日本大震災での津波廃棄物発生量の推定結果について述べる。また、災害廃棄物マネジメントからみた災害廃棄物

発生量の推定について検討する。

2. ハザード情報を用いた災害廃棄物の発生量推定手法

自然災害時には、被災家屋等から災害廃棄物が大量に発生することとなる。これらの膨大な量の災害廃棄物を迅速かつ適正に処理するためには、効果的な災害廃棄物対策を構築することが不可欠であり、災害廃棄物発生量の推定が必要となる。これまでに、自然災害における災害廃棄物の発生量推定に関する検討はなされてきている。高月ら¹⁾は、災害に起因する廃棄物として、阪神・淡路大震災における家屋建築物の倒壊に伴う解体廃棄物の発生状況の調査から、解体廃棄物の発生原単位を算出しており、木造家屋の廃棄物重量原単位を0.40~0.61 ton/m²と推定している。渡辺²⁾は、阪神・淡路大震災での廃棄物発生の見積もり方法について調査し、大阪市での800棟の解体実績から、廃棄物発生量を96 m³/戸であったと推定している。また、住宅作業解体処理業者連絡協議会など業界で得られている値として、39.7~44.7 ton/戸と報告している。また、2004年新潟県中越地震での解体廃棄物発生量について、57~85 ton/棟と報告されている³⁾。また、Hirayamaら⁴⁾は、阪神・淡路大震災、2004年新潟県中越地震での災害廃棄物の処理実績値と

原稿受付 2012.2.13

* 京都大学大学院工学研究科

** 関西大学大学院社会安全研究科

*** 人と防災未来センター

連絡先：〒615-8540 京都市左京区京都大学桂 C1-3-182

京都大学大学院工学研究科 平山 修久

E-mail: hirayama@hse.gloe.kyoto-u.ac.jp

住家被害との関係から、61.9 ton/世帯、113 ton/棟という非公共・公共を含む災害廃棄物発生量原単位を示している。

水害廃棄物についても、平山ら⁵⁾は、住家被害を考慮した水害廃棄物の発生量原単位を算出している。そこでは、浸水による住家被害区分である床上浸水、床下浸水において、それぞれ4.6 ton/世帯、0.62 ton/世帯と推定されている。一方、2005年米国ハリケーン・カトリナ災害では、1棟あたりの水害廃棄物発生量は300 cubic yards (229 m³)、つまり、体積・重量換算で60 tonとしている⁶⁾。

想定地震に係る被害想定において、災害廃棄物発生量の推定が行われている。政府の中央防災会議における専門調査会では、地震の揺れ、液状化、火災による消失など各要因による建物被害量と1棟あたり床面積から被害面積を算出し、面積あたりの災害廃棄物発生量原単位を用いて災害廃棄物発生量の推定を行っている⁷⁻⁹⁾。また、Hirayama ら¹⁰⁾は、災害ハザードマップの情報を用いて、住家被害を考慮した発生量原単位による災害廃棄物発生量推定手法を提案している。さらに、首都圏大規模水害のように、浸水継続時間が長期間となる大規模水害時にも活用可能な、浸水継続時間を考慮した水害廃棄物発生量の推定手法について検討している¹¹⁾。また、U.S. Army Corps of Engineers は、ハリケーンの規模、カテゴリー、地理情報システムにおける人口分布、学校、事業所等のデータベースを用いて、ハリケーンにより発生する災害廃棄物のポテンシャル量の推定手法を構築している¹²⁾。

これらのことから、災害のハザード情報を用いた災害廃棄物発生量の推定手法を図1に示す。災害後において

は、災害初動時の情報収集において、衛星写真、航空写真、地震動分布、浸水地域、浸水深等の当該災害に関するハザード情報を収集する。次に、これらのハザード情報に基づき、地域統計メッシュ等の人口分布や世帯分布などの社会統計情報を用いて、被災世帯数、被災棟数等の社会的被害情報を算出する。そして、発生量原単位を用いて、災害廃棄物発生量を推定するものである。また、災害前においては、災害情報として被害想定結果の地震動予測や水害や津波の推定浸水図を用いて、事前に災害廃棄物発生量を推定することが可能である。以上のことから、東日本大震災においても、津波による浸水域や浸水深の災害情報に基づき、住家被害を考慮した災害廃棄物発生量原単位を用いて、災害初動時において精度よく津波廃棄物発生量の推定を行うことが可能であると考えられる。

3. 東日本大震災における津波廃棄物発生量の推定

3.1 津波浸水域の同定

津波廃棄物発生量を推定するためには、まず、津波に関する災害情報を明らかにすることが必要となる。ここでは、地理情報システム上において津波浸水域を同定する。東北地方太平洋沖地震津波の再現計算による詳細浸水図(暫定値)¹³⁾ならびに浸水範囲概況図¹⁴⁾を用いて、ArcGISのジオリファレンス処理により、地域メッシュ統計における2分の1の地域メッシュ上で津波浸水域の同定を行った。同定結果の一例として、図2に岩手県陸前高田市における地域メッシュでの津波浸水域を示す。

図1 災害廃棄物発生量の推定フロー

図2 津波浸水域の同定結果（岩手県陸前高田市）

図3 津波浸水世帯数分布の推定結果

表1 津波浸水の県別地域メッシュ数と津波浸水範囲面積

都道府県	地域メッシュ数 (—)	浸水面積 (km ²)	国土地理院による浸水 範囲面積 (km ²)
青森県	306	25.6	23.5
岩手県	1,400	116.9	58.0
宮城県	2,472	206.4	326.5
福島県	754	63.0	112.0
茨城県	527	44.0	23.0
千葉県	287	24.0	16.5
合計	5,746	479.7	561.5

この結果、被災6県での津波浸水メッシュ数は、5,746地域メッシュとなる。これより、2分の1の地域メッシュの大きさが547m×462mであること、沿岸部の地域メッシュと面積との補正係数0.33を用いて2分の1の地域メッシュから面積を算出した場合、同定結果における津波浸水域の面積は479.7km²となる。表1に津波浸水の県別地域メッシュ数と津波浸水範囲面積を示す。これより、ここでの同定結果は、国土地理院による津波浸水範囲面積（概略値）561.5km²の0.85となり、災害初動時には、精度よく津波浸水域を推定することが可能であるといえよう。

3.2 津波浸水による住家被害の推定

被害情報として、津波浸水世帯数を推定する。ここでは、平成17年度国勢調査地域メッシュ統計の世帯数を用いて、津波浸水による被災世帯数分布を推定した。図3に津波浸水世帯数分布を示す。その結果、津波浸水による被災世帯数は、被災6県で239,608世帯と推定された。なお、消防庁災害対策本部による被害の状況では、被災6県で全壊128,197棟、半壊237,579棟、床上浸水12,583棟、床下浸水13,394棟と報告されている¹⁵⁾。これより、災害初動時には、ある程度の精度で住家被害を推定することができているといえよう。

なお、ハザード情報として、津波浸水深が把握できた

場合には、津波浸水による住家被害テーブルを用いて、津波浸水深分布より、全壊、大規模半壊、床上浸水、床下浸水という住家被害区分別の住家被害を推定することが可能となる。しかしながら、地域メッシュ別の津波浸水深を把握するためには、より詳細な津波再現計算や津波浸水深に関する現地調査が必要となり、東日本大震災のようなスーパー広域災害時には、短時間で把握することが困難であるといえる。したがって、災害初動時には、津波浸水範囲からの推定を行い、災害後の時間経過により詳細な被害状況の把握とともに、住家被害の推定をより精度が高いものに更新していくことが重要であるといえる。

3.3 津波廃棄物発生量の推定結果

推定された住家被害に対して、非公共・公共を含む災害廃棄物発生量原単位を用いて津波廃棄物発生量を算出する。ここでは、災害初動時に着目することから、津波浸水域のみを考慮し、津波浸水深を考慮しないものとし、津波浸水域内の世帯の被害区分は全壊とみなす。また、阪神・淡路大震災の被災地域において、共同住宅以外に居住する割合が3割程度である一方、今回の被災地域における共同住宅以外に居住する割合が、仙台市等を除くと8割程度であることから、世帯あたりの発生量原単位として、阪神・淡路大震災での1棟あたり113tonを用いることとした。その結果、東日本の太平洋沿岸の被災6県での津波廃棄物発生量は合計2,707.6万tonと推定された。図4に津波廃棄物発生量分布と県別津波廃棄物発生量を示す。これより、東日本大震災での津波により発生する災害廃棄物発生量は、阪神・淡路大震災での災害廃棄物量2,000万tonの約1.35倍であり、2005年米国ハリケーン・カトリナ災害においてルイジアナ州で発生した災害廃棄物量2,680万tonと同程度であることと推定される。

図4 県別の津波廃棄物発生量の推定結果

また、本研究で用いた手法は、地理情報システム上で津波廃棄物発生量の推定を行っている。図5に宮城県における津波廃棄物発生量推定結果を示す。これより、2分の1の地域メッシュ別に津波廃棄物発生量を推定することができており、市町村別だけではなく、より詳細な津波廃棄物発生量の分布状況を災害初動時から把握することが可能となることから、災害廃棄物を迅速かつ適正に処理するとともに、都市インフラとして市民に環境衛生面からの安全・安心を供与するための災害廃棄物マネジメントを構築することにつながるといえよう。

しかしながら、本研究での津波廃棄物発生量推定手法は、建物の被災による発生のみを取り扱っており、農地

図5 宮城県における津波廃棄物発生量分布の推定結果

や山林、特に防潮林である松林の被災による木質系ごみ、港湾地域より発生する船舶、津波浸水地域に堆積した津波堆積物については考慮することができていない。一方、河田ら¹⁶⁾は、東南海・南海地震発生時に、津波により港湾海域に流出するがれき等の津波廃棄物発生量の推定手法を提案し、和歌山県主要港湾を対象とした津波廃棄物発生量の推定を行っている。ここでは、船舶、コンテナ、木材、自動車、家屋がれき類について、津波外力に基づく流出条件を考慮して推定しており、いわゆるミクロ的な積み上げ方式による推定手法である。

また、災害情報として津波浸水域のみを取り扱っており、津波高さや津波浸水深については考慮していないことから、津波浸水深によっては、住家被害が全壊ではなく、大規模半壊や床上浸水の被害区分となり、これらの被災世帯では世帯あたりの発生量原単位が小さくなると考えられる。また、本論文で推定した発生量は、津波浸水域における被災家屋等から発生する津波廃棄物であり、必ずしも港湾や海洋へ流出した津波廃棄物については考慮することができていない。以上のことから、今後、津波災害の物理現象や津波廃棄物の発生プロセスやその特性を考慮したうえで、限られた災害情報や被害情報しか得られない災害初動時においても、より精度の高い津波廃棄物発生量の推定手法の構築が必要である。

4. 津波廃棄物発生量の推定と災害対応システム

4.1 災害対応力からみた津波廃棄物発生量推定

Hirayama ら¹⁷⁾は、災害廃棄物量を平常時の1年間で一般廃棄物排出量であるごみ総排出量で除した災害廃棄物量相対値を、被災市町村の災害対応力を考慮した被災状況を示す指標のひとつとして提案している。得られた東日本大震災での県別の津波廃棄物発生量の推定値より、災害廃棄物量相対値を算出した。図6に県別災害廃棄物量相対値を示す。これより、宮城県では16.5年、岩手県では11.7年と、平常時のごみ総排出量の10年分

図6 東日本大震災における県別災害廃棄物量相対値

以上の津波廃棄物が発生している。また、福島県、茨城県、青森県においても、それぞれ3.2年、2.9年、1.6年となっている。

平山ら¹⁸⁾は、1999年から2004年の水害における水害廃棄物対応から、市町村においては災害廃棄物量相対値が6ヶ月以上となる水害は、当該市町村の災害対応力を超えた災害であり、迅速かつ適正な水害廃棄物処理には、政府、都道府県、他市町村からの支援や連携が必要であることを示している。したがって、宮城県、岩手県をはじめとする被災5県においては、被災自治体の対応力を超えた津波災害であるといえよう。つまり、東日本大震災では、被災6県において阪神・淡路大震災を上回る津波廃棄物が発生しており、被災県の災害対応力を考慮した災害廃棄物量相対値からは国難ともいえるスーパー広域災害ではある。しかしながら、約2,700万 tonの津波廃棄物が、東日本の太平洋沿岸の500 kmの広範囲で発生していることから、既往の災害廃棄物処理に関する経験や知見を活かしつつ、災害廃棄物マネジメントを構築するとともに、新たな津波廃棄物に関する知識を集約し、広域連携方策などの既存の枠組みにとらわれない対策や官民学による協働により必ず克服することができる災害であるともいえよう。

4.2 災害対応システムからみた災害廃棄物発生量推定

本稿での発生量推定手法は、あくまでも、災害初動時において、今後の災害廃棄物対策の構築に向けた態勢の確率など災害後の災害廃棄物マネジメントを構築するためのものである。米国等においては、災害廃棄物に関する標準的な災害対応システムとして、ICS (Incident

Command System) に基づいた災害廃棄物マネジメントシステムが構築されている。このICSにおいては、the Operational Planning “P” として、具体的な災害対応計画策定プロセスについて定められている¹⁹⁾。したがって、災害廃棄物対策においても、図7に示す災害廃棄物計画作成システム (Disaster Debris Management Planning P System) として災害対応を実施することにより、災害廃棄物マネジメントを行うことが必要であると考ええる。

この災害対応システムにおいては、災害初動時から災害情報に基づき発生量の推定を行う。ここでは、まず、初動態勢を構築することが可能となる精度が求められる。つまり、全部局での対応が必要なのか、応援協定に基づく外部からの支援が必要なのか、それ以上の広域連携システムが必要なのか、という災害対応の規模を判断することができるものである。そのうえで、被害状況の把握や消防部局・危機管理担当部局からの被害情報に基づき、発生量の推定結果を見直し、再評価していくことが必要である。さらに、処理を進めていくなかで、発生量原単位の検証や更新も含めて、発生量の推定結果を、災害対応の時間スケールを鑑みたくえて、より精度を上げるという災害対応サイクルを回すことが、量的な観点からの災害廃棄物マネジメントには必要である。

また、災害対応における重要な概念として、目標による管理に基づく災害対応業務が指摘されている。つまり、具体的な目標を定め、その目標を達成するための施策や災害対応業務を、リソースや優先順位を考慮しながら業務計画 (Incident Action Plan) を作成し、業務の進捗管理を行いながら、災害対応業務を遂行するものである。

図7 災害廃棄物計画作成システム (Disaster Debris Management Planning P System)

したがって、目標、施策、対応、業務が、目的手段関係による階層的な構造を有する戦略計画として体系化されることとなる。これにより、環境部局はもちろん、防災部局をはじめとする他部局、あるいは、災害対策本部長である首長、さらには、被災者にとって、環境部局がこの災害をどのようにして克服しようとしているのか、そのビジョンや目標が明確になるとともに、災害時の環境部局のプレゼンスを示すことが可能となるといえよう。さらには、現状でできることの積み上げではなく、目標達成のためにどのような対策や施策が必要であり、その実施に求められるリソースや工学技術を活用していくことができよう。今後は、災害後の復旧・復興期の主役である市民に対して環境衛生での安全・安心を供与するとともに、地域のできる限り迅速な復旧・復興を目指す地域事業継続の観点から、災害廃棄物マネジメントを確立することが重要であり、そのための災害対応システムを鑑みた災害廃棄物発生量の推定手法から処理に係る管理手法の構築が喫緊の課題である。

5. 結 語

災害初動時より災害廃棄物マネジメントを構築するという観点から、災害情報として津波浸水域を用いて東日本大震災での津波廃棄物発生量の推定を行った。その結果、津波廃棄物発生量は、東日本の被災6県で合計約2,700万tonと推定された。また、被災市町村の災害対応力からは、宮城県では16.5年、岩手県では11.7年と、平常時のごみ総排出量の10年分以上の津波廃棄物が発生しており、被災自治体の対応力を超えた津波災害であり、広域連携等の対応が求められる国難ともいえるスーパー広域災害であることを示した。さらに、災害後の復旧・復興期の主役である市民に対して環境衛生での安全・安心を供与するとともに、地域のできる限り迅速な復旧・復興を目指す地域事業継続の観点からは、災害対応システムを鑑みた災害廃棄物発生量の推定手法を組み込んだ災害廃棄物マネジメントを構築することが必要不可欠であるといえた。

〔謝 辞〕

本研究を推進するにあたり、廃棄物資源循環学会「災害廃棄物対策・復興タスクチーム」にご助言等ご協力いただいた。本研究は、平成22年度近畿建設協会研究助成、ならびに京都大学グローバルCOEプログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」の助成をうけたものである。

参 考 文 献

- 1) 高月 紘, 酒井伸一, 水谷 聡: 災害と廃棄物性状 —— 災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化 ——, 廃棄物学会誌, 第6巻, 第5号, pp. 351-359 (1995)
- 2) 渡辺信久: 阪神・淡路大震災における災害廃棄物の発生特性, 災害廃棄物フォーラム講演論文集, pp. 93-110 (1996)
- 3) 環境省関東地方環境事務所廃棄物・リサイクル対策課: 大規模災害時の建設廃棄物等の有効利用及び適所埋法策検討調査報告書 (2006)
- 4) N. Hirayama, T. Shimaoka, T. Fujiwara, T. Okayama and Y. Kawata: Quantitative Assessing of Disaster Debris Impact on Landfill System, The Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Proceedings, CD-ROM, 531 (2011)
- 5) 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定手法に関する研究, 環境システム研究論文集, 第33巻, pp. 29-36 (2005)
- 6) 近藤伸也, 近藤民代, 永松伸吾, 平山修久, 河田恵昭: 米国ハリケーン・カトリナ災害における水害廃棄物処理マネジメント, 第18回廃棄物学会研究発表講演論文集, pp. 246-248 (2007)
- 7) 中央防災会議「東海地震対策専門調査会」: 東海地震に係る被害想定結果 (2003)
- 8) 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」: 東南海、南海地震の被害想定について (2005)
- 9) 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」: 首都直下地震の被害想定について (2005)
- 10) N. Hirayama, T. Shimaoka, T. Fujiwara, T. Okayama and Y. Kawata: Establishment of Disaster Debris Management Based on Quantitative Estimation Using Natural Hazard Maps, Waste Management and the Environment V, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 40, pp. 167-178 (2010)
- 11) 平山修久, 島岡隆行, 藤原健史, 岡山朋子, 河田恵昭: 首都圏大規模水害における水害廃棄物発生量の推定手法, 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 83-84 (2010)
- 12) FEMA: USACE Hurricane Debris Estimating Model, FEMA Public Assistance Debris Management Guide, FEMA-325/ July 2007 (2007)
- 13) 国際航業㈱: 平成23年3月東日本大震災津波再現計算浸水図
http://www.kk-grp.jp/csr/disaster/201103_touhoku-taiheiyo/ (閲覧日2011年5月17日)
- 14) 国土地理院: 浸水範囲概況図, 平成23年東北地方太平洋沖地震に関する情報提供
<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html> (閲覧日2011年5月17日)
- 15) 消防庁災害対策本部: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第143報), 平成24年1月13日(2012)
- 16) 河田恵昭, 小鯛航太, 鈴木進吾, 平山修久: 東南海・

- 南海地震発生時の津波廃棄物発生量の推定手法に関する研究, 第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.249-251 (2007)
- 17) N. Hirayama, T. Shimaoka, T. Fujiwara, T. Okayama and Y. Kawata : Implementation of Intelligence of Flood Disaster Debris Discharge for Emergency Response, Risk Analysis VII, WIT Transactions on Information and Communication Technologies, Vol. 43, pp. 217-228 (2010)
- 18) 平山修久, 河田恵昭 : 水害時の行政対応における災害廃棄物発生量に関する研究, 地域安全学会論文集, 第7号, pp.325-330 (2005)
- 19) United Coast Guard : Incident Management Handbook, February 1 (2001)

Quantitative Estimation of Disaster Debris for Operational Management after the Great East Japan Earthquake

Nagahisa Hirayama*, Yoshiaki Kawata** and Yoshihiro Okumura***

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

** Graduate School of Safety Science, Kansai University

*** Disaster Reduction and Human Renovation Institution

† Correspondence should be addressed to Nagahisa Hirayama :
Graduate School of Engineering, Kyoto University
(C1-3-182, Kyoto-Daigaku-Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8540 Japan)

Abstract

The 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake and tsunami disaster devastated the coastline of the Tohoku region, generating an enormous amount of disaster debris. In the aftermath, it was necessary for disaster debris management to estimate the amount of debris generated since the emergency response phase. The purpose of this study was to estimate the actual amount of disaster debris generated by the tsunami, which was done by calculating the number of households damaged by tsunami inundation using the computation results of aftermath tsunami inundation. Total tsunami debris amounts in the stricken areas were estimated by multiplying the per unit generation debris taking damage to housing into consideration, and the calculated number of damaged households. As a result, the total amount of tsunami debris along the Pacific coast of the Tohoku region was estimated to be 27.1 million tons. In order to recover environmental human security for those residing in the aftermath, the establishment of tsunami debris management that can operate strategy planning and policy making is crucial.

Keywords : tsunami disaster, tsunami debris, quantitative estimation procedure, disaster debris management, Incident Command System