

# 東日本大震災の災害廃棄物の密度と組成に関する考察

## Study on the Density and Composition of Disaster Waste of 2011 East Japan Earthquake

大矢好洋\* 埜本雅春\* 大塚義一\*

### 要 旨

東北地方太平洋沖地震により発生した膨大な災害廃棄物の処理は、通常の廃棄物処理および既往の災害廃棄物とも次の点で異なる特徴を持っている。大部分が津波による被害であったため土砂類を含む多様な可燃物・不燃物が混合状態にあったこと、被災エリアが沿岸の広範囲に渡るため被災地区ごとに膨大な量を処理しなければならないこと、一般廃棄物焼却施設など既存の廃棄物処理施設を最大限活用するため被災地の仮置場で破碎・選別処理をしなければならないことなどである。

当社が岩手県から委託を受けて岩手県下閉伊郡山田町で実施している災害廃棄物破碎選別業務では、現地で災害廃棄物を破碎・選別して処理処分先へ運搬するために、非常に多くの作業員や重機、運搬車両が稼働している。それらの効率的な管理のために「災害廃棄物処理統合管理システム」を開発し、業務から得られる災害廃棄物処理データを蓄積している。

本論文では、災害廃棄物処理計画を実施するために重要な要素である災害廃棄物の密度および組成に着目し、既往の災害における災害廃棄物の実績を取りまとめるとともに、山田地区において統合管理システムより得られたデータとの比較、考察を行った。その結果、東日本大震災での災害廃棄物の搬入・搬出時における密度や組成の特性の一部を明らかにすることができた。

キーワード：災害廃棄物処理統合管理システム、廃棄物処理、密度、組成

### 1. まえがき

東日本大震災により被災三県（岩手県・宮城県・福島県）の沿岸市町村では、1,630 万 t もの災害廃棄物が発生した。これは、岩手県で約 12 年分、宮城県で約 14 年分の一般廃棄物に相当し、阪神・淡路大震災（1,477 万 t）を超える膨大な量である。

今回発生した災害廃棄物の処理は、以下の点で通常の廃棄物処理とは異なる特徴を有している。

- i. 津波に巻き込まれた影響で可燃物・不燃物・金属・コンクリート・堆積物・漁網等が混合された雑多な状態にあること
- ii. 処理地区単位当たりの処理量が数万 t から数百万 t 規模と膨大になること
- iii. 処理施設への受入基準を満足するために種類別（可燃物・不燃物・木材・その他）や大きさ別に選別する必要があること
- iv. 処理施設の受入要求に応じた日搬出量や受入車両規制および受入可能な要求品質を満足する必要があること
- v. 被災地処理としての被災者・地元雇用を支援するための非専門労働者による作業の安全性確保や精

神衛生上の健康管理等が必要となること

- vi. 予測のつかない危険物・有害物質等の混入物に対する爆発や火災および有毒ガス発生等の事故防止対応の可能性があること

今回の災害廃棄物処理においてはこれまでの経験値が通用しない部分が多く、特に処理計画を立案するために重要なファクターである災害廃棄物の組成や密度が不明であることが大きな問題となっている。

本論文では、弊社が岩手県下閉伊郡山田町において実施している災害廃棄物処理業務と、処理工程や進捗状況の効率的な管理・災害廃棄物処理データ蓄積を目的として開発した「災害廃棄物処理統合管理システム」について述べる。また、災害廃棄物処理業務にとって重要な要素である組成と密度に着目し、これまでの災害で知られている既往のデータを示すとともに、山田地区災害廃棄物処理業務で得られたデータとの比較検討を行う。

### 2. 災害廃棄物処理の概要

#### 2.1 処理状況

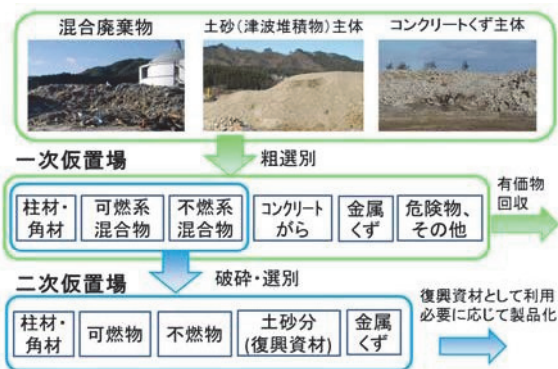
平成 25 年 3 月末時点における被災三県の災害廃棄物推計量と進捗状況は表 1 に示す通りである。

\*東北支店復興プロジェクト室

表一 災害廃棄物推計量と進捗状況<sup>1)</sup>  
(環境省 HP より)

| 県   | 推計量<br>(万 t) | 処理処分量 |     |
|-----|--------------|-------|-----|
|     |              | (万 t) | (%) |
| 岩手県 | 366          | 159   | 44  |
| 宮城県 | 1,103        | 621   | 56  |
| 福島県 | 161          | 56    | 35  |
| 合計  | 1,630        | 836   | 51  |

岩手県では、環境省のマスタープラン<sup>2)</sup>に準拠したうえで迅速な処理を行うため、全体の約 6 割を占める「柱材・角材」、「可燃系混合物」および「不燃系混合物」の破碎・選別処理施設を早期に稼働させた。図一は被災地区での災害廃棄物の処理の流れを示したもので、一次仮置場で粗選別を実施後、さらに二次仮置場に集め、受入基準に準じた分別作業を実施する。これらの処理作業を各要素に分解して示したのが表二である。各現場では、それぞれの災害廃棄物の集積状態（質・量の違い）により、表二の各要素を様々な順序や系統で組み合わせることにより、現場での受入先（要求品質）の違いを考慮した、効率的な分別の実現に努めている。



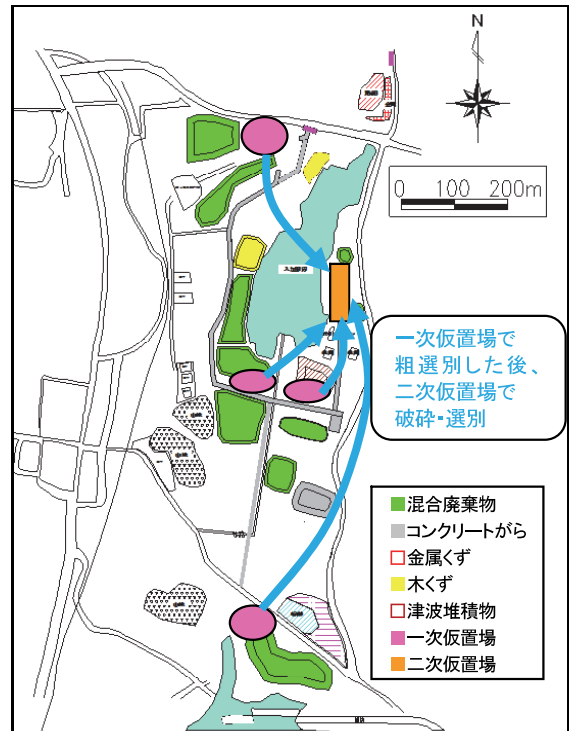
図一 被災地区での災害廃棄物処理フロー

表二 災害廃棄物の破碎・選別処理方法の分類

| 処理方法 |      | 場所や対象物                 |
|------|------|------------------------|
| 選別処理 | 粗選別  | 重機 集積山から大きな物を抜き取る      |
|      |      | 選別機 集積山から破碎物と破碎不要物に分ける |
|      | 本選別  | 人力 破碎物から破碎困難物や危険物を抜き取る |
|      |      | 機械 大きさ・重さ・種類に応じて選別する   |
| 破碎処理 | 一次破碎 | 破碎機 可燃物を（選別大きさに）破碎する   |
|      |      | 重機 コンクリート塊等を粗破碎する      |
|      | 二次破碎 | 破碎機 可燃物を（選別大きさに）破碎する   |
|      |      | 破碎機 不燃物を（選別大きさに）破碎する   |

## 2.2 山田地区での処理事例

山田地区災害廃棄物破碎選別等業務委託は、岩手県の処理方針<sup>3)</sup>に則り、被災地区の一次仮置場から二次仮置場までの災害廃棄物処理、県内外の処理・処分先への運



図二 山田地区災害廃棄物仮置場

搬までがその業務範囲となっている。山田地区での災害廃棄物の総発生量（岩手県推定量）は、48.5 万 t であり、船越半島の公園内（約 10ha）の仮置場（図二参照）に、町内で発生した全ての災害廃棄物を集積し、粗選別から破碎・選別処理を実施している。

山田地区では、図三に示す災害廃棄物処理フローで処理を行っている。仮置場内に点在して集積されている災害廃棄物を 4 ヶ所の一次仮置場に運搬し、重機・人力・粗選別機によって土砂・木材・コンクリートがら・金属などに選別される。選別後の廃棄物は場内運搬され、二次仮置場でさらに 10 数種類に選別・破碎されたうえで、指定された受入先へ搬出する。処理の特徴として、自動選別機による高速高精度の選別処理がある。災害廃棄物は、可燃系・不燃系廃棄物が混合された状態で二次仮置場に集積されており、これらをいかに効率よく高精度に分離していくかがリサイクル率の向上につながる。

## 2.3 災害廃棄物処理統合管理システム

災害廃棄物処理業務には多くの人員と手間を要し、各処理工程や全体の進捗状況等の効率的な管理が課題になる。同地区でも、処理処分先が廃棄物種類ごとに異なり、延べ 200 台/日以上以上の大量のダンプトラックが走行するため、廃棄物ごとの重量管理や車両運行管理が必要とされる。

これらの管理業務効率化のため「災害廃棄物処理統合管理システム」を開発し、各種データの管理を効率的に行っている（図四参照）。また、災害廃棄物処理における膨大なデータを関連記録することで、今後の処理に活用できるという利点もある。

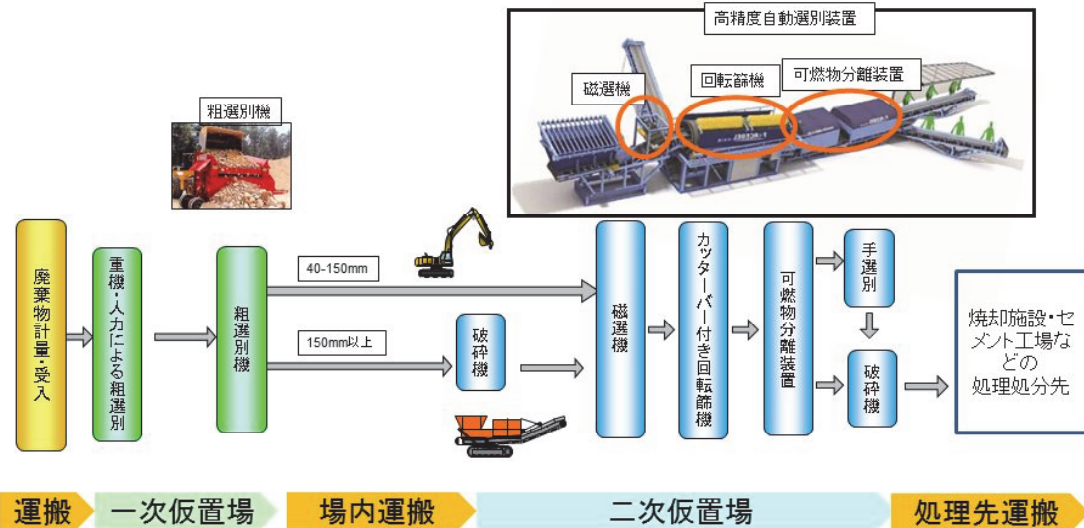


図-3 山田地区における災害廃物処理フロー図

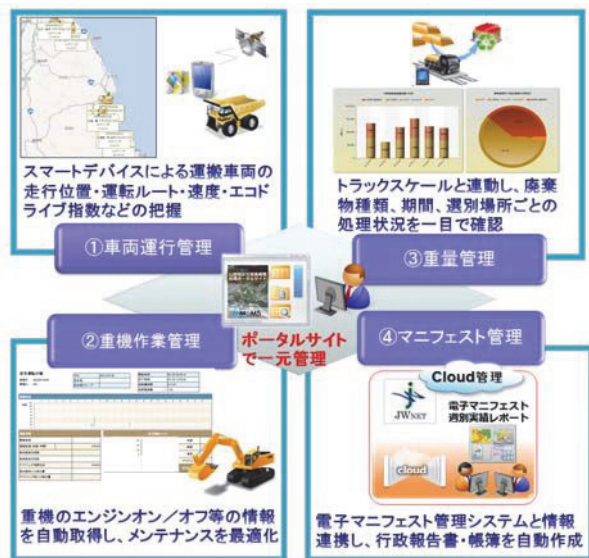


図-4 災害廃物処理統合管理システム概要

災害廃物処理統合管理システムは下記の4つの情報を一元管理し、ポータルサイトによって様々な角度から可視化した情報を、発注者を含めた関係機関内で共有化するものである。

① ダンプトラック等運搬車両の運行管理

各車両に GPS 機能付きの情報端末（スマートデバイス）を搭載し、各車両の走行位置や加速度データを自動取得し、事務所の運行管理用 PC の地図画面上に表示する。危険運転や不法投棄の防止と、渋滞区間回避による運搬の効率化などを目的としている。

② 作業重機の作業実績管理

エンジン作動のオン/オフ等の情報を自動取得し、重機の正確な実稼働時間を記録する。処理量に対する重機稼働状況のデータを採取するとともに、各重機の点検・部品交換時期決定にも活用している。

③ 災害廃物の重量管理

災害廃物の仮置場にトラックスケールを設置し、運

搬車両の積載重量を自動計測する。計測した重量データは廃物種類ごと、処理処先ごとに分類され、日々の処理量や処理速度・密度などの変動も把握できる。

④ マニフェスト管理

重量管理データをクラウド上のデータサーバーに蓄積して、電子マニフェスト管理システムと情報連携し、行政報告書・帳簿を自動作成する。

3. 廃物の組成と密度についての既往データ

3.1 廃物の組成と密度の重要性

岩手県の災害廃物処理では、平成 26 年 3 月の処理完了目標に向けて、目標を満足できるように処理処先の受入数量を決めている。破碎選別施設の設計や破碎選別の機械人員計画を立てる際には、廃物の種類ごとの日運搬量が必要条件となっている。仮置きされている災害廃物は可燃物、不燃物、コンクリートがら等が混合された状態になっているため、処理処先の受入量を満たすための災害廃物取り崩し量（どれだけの災害廃物を処理したら、目的とする可燃物、不燃物等を排出できるか）（図-5 参照）が重要となってくる。取り崩し量の計画には、容積だけではなく組成および密度の情報が不可欠である。



図-5 災害廃物の取り崩しイメージ

### 3.2 廃棄物密度の既往データ

#### a. 環境省と国土交通省の既往データ

災害廃棄物の重量特性を予測するうえで必要になる、通常の廃棄物の一般的な指標を以下に示す。

環境省および国土交通省では、産業廃棄物や建設廃棄物についての重量換算係数（密度）について、表-3に示すようなデータをまとめている。

これらのデータとの比較により、災害廃棄物種類別の重量特性について大まかな定量的評価ができる。

表-3 環境省および国土交通省の重量換算係数

| 産業廃棄物の種類             | 産業廃棄物 (環境省 <sup>5)</sup> ) | 建設廃棄物 <sup>6)</sup> (国土交通省) |           |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|
|                      |                            | 荷積み状態                       | 実体積       |
| 紙くず                  | 0.3                        |                             | 0.5       |
| 木くず                  | 0.55                       | 0.5                         |           |
| ガラスくず、コンクリートがら、陶磁器くず | 1.0                        |                             |           |
| コンクリートがら             | 1.48                       | 1.8                         | 2.35      |
| 建設混合廃棄物              | 0.26                       |                             | 0.24~0.30 |

#### b. 国立環境研究所の既往データ

国立環境研究所では、東日本大震災への対応として、過去の災害で発生した時期と災害廃棄物量を取り纏めるとともに、災害廃棄物種ごとの見かけ比重や重量換算係数を提示している。(表-4、表-5参照)

表-4 これまでの災害

| 名称     | 阪神・淡路大震災   | 能登半島地震      | 福井大 水害              | 長崎大水 害      |
|--------|------------|-------------|---------------------|-------------|
| 発生年月日  | H7<br>1/17 | H19<br>3/25 | H16<br>7/18         | S57<br>7/23 |
| 災害廃棄物量 | 1,477 万 t  | 44 万 t      | 4,690m <sup>3</sup> | 5.7 万 t     |

阪神・淡路大震災の際の搬入実態調査では、がれき類の見かけ比重が 1.2t/m<sup>3</sup>、RC 構造物の重量容積換算係数が 1.1-1.5t/m<sup>3</sup> という値が報告されている。また、搬出時としては能登半島沖地震の際の 1.6~2.5t/m<sup>3</sup> が報告されている。これらの実態調査結果は、通常時のがれきの見かけ比重 1.6t/m<sup>3</sup> よりやや高いが、その原因として仮置場での簡易な破碎・選別により選別残渣を含んだ状態で

搬出されたものと推測している<sup>4)</sup>。

阪神・淡路大震災での大量に発生した木質系を中心とした混合ごみの搬入時の見かけ比重は、平均で 0.59t/m<sup>3</sup> と報告されている。この結果は、複数の方法で検証されており非常に確度が高いとされているが、搬入ごみのロットに応じて幅が大きいことも指摘されている。また、仮置場において散水および自重沈下によって見かけ比重は 0.6~2.5t/m<sup>3</sup> に上昇したなど、時間的な変動についても示されている。

分別された木くず類は、0.1~0.25t/m<sup>3</sup> となることが能登半島沖地震および阪神・淡路大震災の実績値で示されている。環境省や国土交通省の調査結果に比べて小さい理由については、発生状態の違いと推察している。仮置中の散水による比重の変化は阪神・淡路大震災の調査とほぼ同じ割合で変化しており、木くず類についても混合ごみと同様な時間的変動があることを示唆している<sup>4)</sup>。

これらの既往データから、東日本大震災で発生した災害廃棄物の中で、木質系の災害廃棄物は湿潤度合が高い傾向を示すと想定されており、能登半島沖地震や阪神・淡路大震災のケースが該当しないことも指摘されている。その根拠として、長崎大水害では土砂混じり水害ごみで 1.41t/m<sup>3</sup>、災害ごみ全体で 1.0t/m<sup>3</sup>、福井大水害の水害ごみ(木くず)では 0.5t/m<sup>3</sup> であったことを示している。以上のことから、災害廃棄物の見かけ比重や密度等については、被災地域の状況と発生ごみ種に応じた変換係数を用いることが肝要であることを提言している<sup>4)</sup>。

### 3.3 災害廃棄物組成の既往データ

#### a. 自社検証データ

災害廃棄物の組成については災害の種類、災害が起こった地域、被害の程度などによって比率が大きく異なる。災害廃棄物の容積は、測量によって大まかに求めることができるが、全体の組成比率を推定するのは非常に困難である。

災害廃棄物処理業務に着手するに当たり、当社では組成調査の実験を行った。実験方法は、実際の災害廃棄物を選別し、種類ごとに重量を測定するものである。

#### b. 岩手県での推定データ (当初計画時)<sup>2)</sup>

岩手県では、平成 23 年 8 月に災害廃棄物処理詳細計

表-5 災害廃棄物種ごとの見かけ比重および重量容積換算係数<sup>4)</sup>

|            | がれき (t/m <sup>3</sup> ) |          | 混合ごみ (木造家屋系) (t/m <sup>3</sup> ) |          | 木くず (t/m <sup>3</sup> ) |          |
|------------|-------------------------|----------|----------------------------------|----------|-------------------------|----------|
|            | 見かけ比重                   | 重量容積換算係数 | 見かけ比重                            | 重量容積換算係数 | 見かけ比重                   | 重量容積換算係数 |
| 発生時(乾燥)    |                         |          | 0.59                             | 0.1-1.2  | 0.2                     | 0.1-0.25 |
| 発生時 (水害ごみ) | 1.4                     |          | 1.0                              |          | 0.5                     |          |
| 仮置き時       | 1.2                     | 1.1-1.5  | 0.79                             |          | 0.26                    |          |
| 搬出・処分時     | 2.0                     | 1.6-2.5  | 0.73                             | 0.6-2.5  | 0.23                    |          |
| 備考         | 能登半島沖、阪神・淡路、長崎大水害での実績等  |          | 阪神・淡路、長崎大水害での調査等                 |          | 能登半島沖、阪神・淡路、福井大水害での実績等  |          |

画を策定するに当たり、以下の方法で推定比率を求めている。仮置きされている災害廃棄物の表面を図-6のように数か所写真撮影して組成比率を求め、組成比率に応じた重量換算を行い重量比率を推定している。

c. 岩手県での推定データ (改訂時) 7)

岩手県では、処理業務着手後 5 カ月間経過した段階で、実績データを基に推定量の見直しを実施している。

d. 各推定データの比較と結果の考察

当社で行った試験および岩手県災害廃棄物処理詳細計画に記載されている推定組成比率を図-7に示す。

①は当社が災害廃棄物処理業務着手前に実施した実験の結果、②は岩手県が平成 23 年 8 月に策定した災害廃棄物処理詳細計画において推定した組成比率、③は②を平成 24 年 5 月に見直した組成比率である。

①、②が災害廃棄物処理業務着手前に推定されたものであるのに対し、③は岩手県沿岸の各市町村で実施中の災害廃棄物処理業務から得られた多くのデータを基に見直しをされたものである。そのような観点より、③が実際の組成に最も近いと想定し、①と②の結果について以下に考察する。

まず①と③を比較する。③に比べて①は柱材・角材および不燃系混合物の割合が高い。この理由としては、①が少量 (10m<sup>3</sup>) での実験であったため、廃棄物の取り方に偏りが生じてしまったためと考えられる。ただ、不燃系混合物の割合が非常に多いという特徴は、③と合致している。

次に、②と③を比較する。②と比べて③は柱材・角材および可燃系混合物の割合が小さく、不燃系混合物の割合

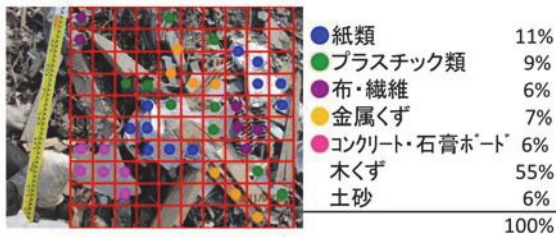


図-6 岩手県による災害廃棄物組成推定の方法

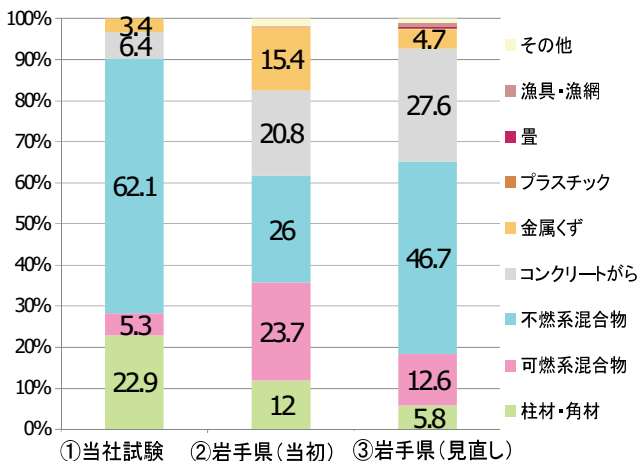


図-7 災害廃棄物推定組成比率の比較

が多い。この理由としては、以下の 2 点が考えられる。

1 点目は、災害廃棄物を市街地から撤去し仮置場に運搬する際における作業の影響である。災害廃棄物はバックホウやブルドーザーなどの重機によって集積されるが、その際にバケットと木材が接触し、破砕するような形になってしまう。そのため、柱材角材の割合が低下し、小さくなった木片が混じった不燃系混合物の割合が大きくなったと考えられる。

2 点目は、写真撮影という推定方法にあると考えられる。仮置場には屋根など存在しないため、災害廃棄物は降雨等に晒された状態で仮置きされている。そのため、廃棄物の表面に付着していた不燃系混合物などの細粒分が時間の経過とともに洗い流され、写真から判断した②の不燃系混合物割合は実態よりも少なくなってしまうと考えられる。結果として、②に比べて③の不燃系混合物割合が大きくなってしまったと推察される。

今後、災害廃棄物の推定をする際には、一定以上の容積を使用した実験と写真撮影の組み合わせが、より精度の高い組成を求める方法だと考えられる。

4. 山田地区処理実績データの分析

4.1 災害廃棄物の密度の実績データ

災害廃棄物処理統合管理システムの運搬重量データから災害廃棄物の密度変動を算出した。運搬車両の運搬容積を一定であると仮定して算出した搬入物の比重 (1 日の運搬重量と運搬台数から算出した平均値) の結果を、図-8 と図-9 に示す。

これらより、可燃系混合物と不燃系混合物の密度には大きな差異が生じていると推察できる。可燃系混合物の密度は、平均値: 0.21、最小値: 0.02、最大値: 0.62 であり、不燃系混合物の密度は、平均値: 0.61、最小値: 0.01、最大値: 2.06 であった。可燃系・不燃系混合物はともに、日変動のバラツキも大きく、既に集積されていた仮置場での災害廃棄物の密度においてもこれらの影響が反映されているであろうと推察できる。

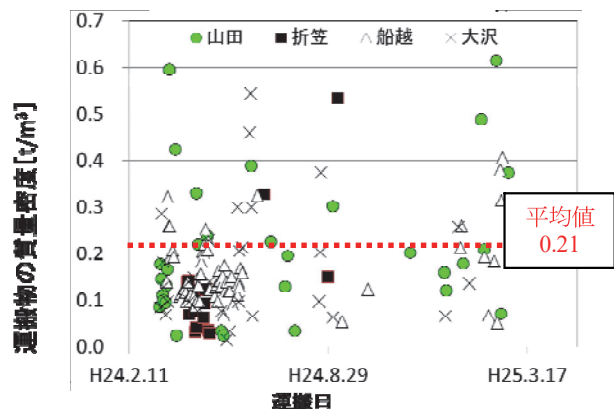


図-8 搬入された可燃系混合物の密度 (地区ごと)

これらの密度は、既往の災害廃棄物として報告されている木造家屋系の混合ごみ  $0.73t/m^3$  (表-5) よりも大幅に小さい。理由としては、運搬において空隙が多くあることが影響していると推察される。

また、二次仮置場における混合物と可燃物の密度データを表-6に示す。このデータは廃棄物の大きさごとに分かれたデータとなっており、混合物においては大きさ150mm以上の密度が  $0.2\sim 0.8 t/m^3$  程度、40mm以上150mm以下の密度が  $0.1\sim 1.0 t/m^3$  程度、40mm以下の密度が  $0.6\sim 1.8 t/m^3$  程度と非常に分散していた。大きさが小さくなるほど密度が大きくなる傾向が見られたが、その理由としては、大きさが小さくなるほど密度の大きな土砂分の混入率が上がるためであると考えられる。

また、可燃物は2種類の大きさ(50mm以下、50~150mm)の密度データを取得している。50~150mmの密度が  $0.2\sim 0.6 t/m^3$  と変動幅が小さいのに対し、50mm以下の密度は  $0.5\sim 1.9 t/m^3$  と変動の幅が大きい。これも混合物と同様、大きさが小さくなるほど細粒分である土砂や小さな木片の影響を受けやすいためであると考えられる。

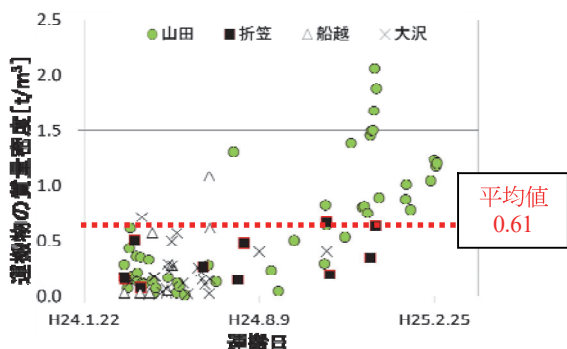


図-9 搬入された不燃系混合物の密度(地区ごと)

表-6 山田地区二次仮置場における密度データ

| 種類            | 混合物     |         |         | 可燃物     |         |         |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|               | 大きさ(mm) | 40以下    | 40-150  | 150以上   | 50以下    | 50-150  |
| 密度( $t/m^3$ ) |         | 0.6-1.8 | 0.1-1.0 | 0.2-0.8 | 0.5-1.9 | 0.2-0.6 |

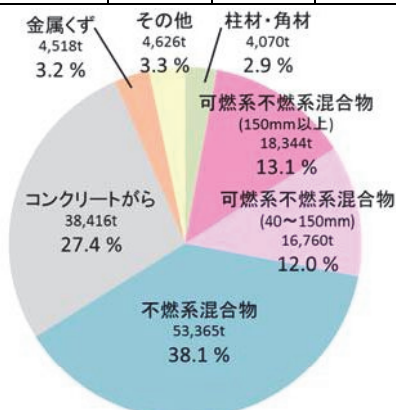


図-10 山田地区災害廃棄物破碎選別等業務委託における実績(H25.3月末までの累計)

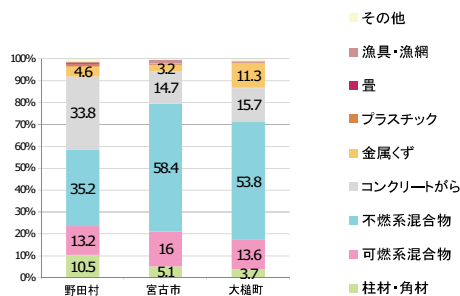


図-11 岩手県沿岸各市町村の災害廃棄物推定組成比率の比較

#### 4.2 災害廃棄物の組成

図-10に山田地区災害廃棄物破碎選別業務での平成25年3月までの累積データを示す。山田地区では40mm以上の可燃系混合物を可燃系不燃系混合物として扱っているため若干の誤差はあるが、図-7③に示す岩手県災害廃棄物処理詳細計画(見直し)とほぼ同じ傾向を示している。ただし、全ての市町村が同じ傾向を示している訳ではなく、沿岸他市町村ではそれぞれに少しずつ特徴を持っている(図-11)。以上のことから、組成比率には地域特性の影響が大きいことが推察される。

#### 5. あとがき

山田地区における災害廃棄物処理について報告するとともに、災害廃棄物処理統合管理システムにより得られた膨大なデータを分析した。今回は、災害廃棄物処理において重要なファクターである災害廃棄物の密度と組成に着目し、既往の災害と比較するとともに今回の災害における実績の考察を行った。災害廃棄物処理業務そのものは、平成26年3月の処理処分完了目標に向けて順調に進捗している。今後も更なるデータ収集・解析を進め、災害廃棄物処理の順調な進捗に向けて様々な角度からデータ分析を行っていきたいと考えている。本論文の執筆にあたり、岩手県と伊藤忠テクノソリューションズの協力を得た。記して謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) 環境省、「沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況」、2013.2.28
- 2) 環境省、「東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針(マスタープラン)」、2011.5.16
- 3) 岩手県、「岩手県災害廃棄物処理詳細計画」、2011.8.30
- 4) 国立環境研究所、「災害廃棄物の重量容積変換について(第一報)」、2011.4.1
- 5) 環境省、「産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子 manifests の普及について」
- 6) 国土交通省、「平成17年度建設副産物実態調査」
- 7) 岩手県、「岩手県災害廃棄物処理詳細計画平成24年度改訂版」、2012.5