

平成26年度  
災害環境研究成果報告書

第5編

災害環境マネジメント研究

平成27年9月

国立研究開発法人国立環境研究所



## 第5編 災害環境マネジメント研究

<b>1. 災害時の資源循環・廃棄物マネジメント強靱化戦略の確立</b> .....	1
1.1 災害・地域特性に応じた災害廃棄物量的質的管理システムの確立.....	1
1.1.1 災害廃棄物発生量原単位の検証と精度向上.....	1
1.1.2 災害廃棄物の量的・質的推定手法・管理システムの構築.....	6
1.1.3 災害廃棄物の3R方策に関する検討.....	8
1.2 地域復旧・復興と連動した災害廃棄物処理技術システムの確立.....	12
1.2.1 災害廃棄物中間処理技術の評価.....	12
1.2.2 破砕選別技術の最適化.....	16
1.2.3 災害廃棄物中の石綿の適正管理.....	18
1.2.4 災害廃棄物・建設産業副産物の利活用技術の開発.....	35
1.2.5 災害時の生活排水分散型処理システム構築.....	80
1.2.6 アジア地域に対応した災害廃棄物管理システムの構築.....	104
1.3 災害廃棄物処理に係るマクロ・ミクロ両面からの制度・マネジメントの確立.....	109
1.3.1 災害廃棄物分野の日本型標準的なマネジメントシステムの構築.....	109
1.3.2 効果的な災害廃棄物処理計画策定に向けたマネジメント研究.....	114
1.3.3 緊急時における環境アセスメントのあり方に関する研究.....	122
<b>2. 災害に伴う健康・環境へのリスク管理戦略に関する研究</b> .....	129
2.1 災害時のリスク管理目標に関する研究.....	129
2.1.1 目標物質およびその指針値作成のためのデータベース構築の検討.....	130
2.1.2 環境化学会(2011年8月)作成の緊急時モニタリング指針案の既存分析法調査 .....	134
2.1.3 まとめ.....	135
2.2 災害時の探索的・迅速分析の構築.....	136
2.2.1 大気・室内環境調査.....	136
2.2.2 探索的・網羅的高度分析.....	141
2.2.3 海洋における災害時環境調査の研究.....	146
2.3 災害時リスク管理の体制に関する研究.....	152
2.3.1 自治体における「化学物質に係る災害・事故対応マニュアル」策定状況調査.....	152
2.3.2 米国国立環境保健科学研究所からの情報収集.....	154
2.3.3 まとめ.....	155

<b>3. 災害環境研究ネットワーク拠点の構築</b> .....	156
3.1 災害環境分野に関する情報プラットフォームの構築・発信 .....	156
3.1.1 背景と目的 .....	156
3.1.2 情報プラットフォームに求められる機能 .....	156
3.1.3 情報プラットフォームの設計 .....	157
3.1.4 情報プラットフォームの運営 .....	159
3.1.5 編集会議の設置と開催 .....	161
3.1.6 各種の情報発信（Web 以外） .....	161
3.1.7 今後に向けて .....	162
3.2 災害環境分野における効果的な人材育成プログラムの開発・実践 .....	162
3.2.1 はじめに .....	162
3.2.2 人材育成研修プログラムの構築に向けたワークショップ .....	162
3.2.3 ワークショップにおける議論の成果 .....	164
3.2.4 災害廃棄物研修プログラム設計上の留意点 .....	166
3.2.5 育成すべき能力別にみた災害廃棄物研修の留意点 .....	167
3.2.6 まとめ .....	168
3.3 災害環境分野の人的ネットワークの構築 .....	168



# 1. 災害時の資源循環・廃棄物マネジメント強靱化戦略の確立

## 1.1 災害・地域特性に応じた災害廃棄物量的質的管理システムの確立

### 1.1.1 災害廃棄物発生量原単位の検証と精度向上

#### (1)はじめに

東日本大震災以降、被災地域の迅速な復興のためには、災害廃棄物処理を適正かつ円滑に実施することが重要であることが再認識された。適正かつ円滑な災害廃棄物処理を実現するためには、災害による被害様相を把握し、災害対応業務に活かしていくことが求められる。そのためには、災害廃棄物の発生量、処理量を、災害前、災害後において、実務的に活用しやすくかつ精度よく推定することが必要である。本研究では、東日本大震災の実績に基づき、住家の被害区分別での災害廃棄物の発生量原単位を推定する。

#### 既往の災害廃棄物発生量の推定手法

平山ら<sup>1)</sup>は、図 1.1-1 に示す災害外力のハザード情報や被害情報を用いた災害廃棄物量の推定手法を提案してきている。内閣府中央防災会議において、南海トラフ巨大地震、首都直下地震における災害廃棄物発生量を推定している。そこでは、震災廃棄物対策指針<sup>2)</sup>で示した推計方法を用いて、建物の全壊棟数、平均延床面積及び発生原単位から災害廃棄物の発生量の推計を行うとともに、東日本大震災で用いた津波堆積物の推計方法を用いて、津波浸水面積と堆積厚から推計を行っている。

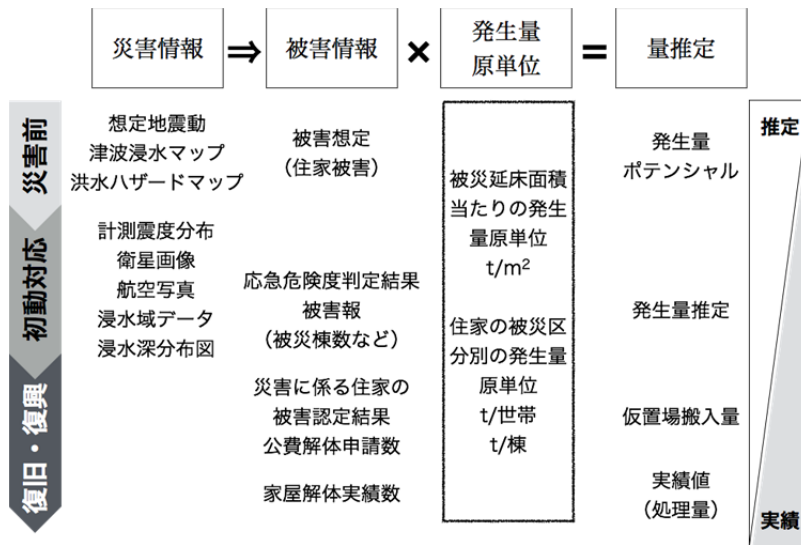


図 1.1-1 災害廃棄物の推定フロー

建物損壊の被害要因として、液状化、揺れ、急傾斜地崩壊、津波及び火災焼失を想定している。また、これら建物被害は複数の要因で重複して被害を起こす可能性があることから、被害要因の重複を避けるため、液状化、揺れ、急傾斜地崩壊、津波、火災焼失の順番で被害の要因が割り当てられている。推計の対象とする災害廃棄物は液状化、揺れ、急傾斜地崩壊、津波及び火災焼失により全壊する建物を解体する際に発生する災害廃棄物及び津波堆積物としている。津波堆積物の発生量推定手法として、津波の浸水面積、堆積厚及び体積換算係数から次式により、

東日本大震災における津波堆積物の発生量を推計している<sup>3)</sup>。

津波堆積物の発生量 (t) = 津波浸水面積 (m<sup>2</sup>) × 堆積厚 (m) × 体積換算係数 (t/m<sup>3</sup>)

なお、東日本大震災による津波堆積物の推定においては、堆積厚及び体積換算係数については幅を持たせて、堆積厚は 2.5×10<sup>-2</sup> m～4.0×10<sup>-2</sup> m、体積換算係数は 1.10 t/m<sup>3</sup>～1.46 t/m<sup>3</sup>として推計を行っている。

### 既往の災害によるがれき発生量原単位について

これまでもさまざまな災害廃棄物の発生量原単位についての検討がなされてきている。厚生省は、建物の全壊棟数、平均延床面積及び原単位から災害廃棄物の発生量を推計している<sup>2)</sup>。

$$Q = s \times q \times N$$

ここに、 $Q$  はがれき発生量 (t)、 $s$  は 1 棟当たりの平均延べ床面積 (m<sup>2</sup>/棟)、 $q$  は単位延べ床面積当たりの発生量 (t/m<sup>2</sup>)、 $N$  は解体建物の推定棟数、である。表 1.1-1 に阪神・淡路大震災における災害廃棄物の発生原単位<sup>4) 5)</sup>を示す。2004 年新潟県中越地震での解体廃棄物発生量は、1 棟当たり 57 t～85 t と報告されている<sup>6)</sup>。

表 1.1-1 阪神・淡路大震災における災害廃棄物発生原単位

住家被害区分	住家被害	災害廃棄物発生量原単位
半壊	274,181世帯	30.9 t/世帯
	144,274棟	56.5 t/棟
全壊	186,175世帯	61.9 t/世帯
	104,906棟	113.0 t/棟

水害時の水害廃棄物発生量原単位について、水害廃棄物対策指針<sup>7)</sup>において、平成 13 年度に過去水害で被害を受けたことのある 171 市区町村を対象として実施したアンケート調査の結果から、水害廃棄物量の推計にあたっては、全被害家屋 1 棟当たり 2t 程度で算出すれば、実際の水害時に発生する廃棄物量と大きく変わらない可能性が高いものと考えられるとしている。

平山、河田<sup>8)</sup>は、1999 年から 2004 年に水害により災害救助法が適用された延べ 127 の市町村を対象として実施されたアンケート調査結果を用いて、住家の被害状況と災害廃棄物処理量との関係について重回帰分析した結果、水害時の浸水による住家被災区分である床上浸水 1 世帯当たり 4.6t、床下浸水 1 世帯当たり 0.62t の水害廃棄物発生量原単位を推定している。平山、大迫<sup>9)</sup>は、2011 年東日本大震災での津波廃棄物発生量の推定において、津波浸水深と住家被災区分による発生量原単位として、全壊 113.0t、床上浸水 4.6t、床下浸水 0.62t を用いている。

### 災害対応業務からみた災害廃棄物発生量の推定手法

災害廃棄物の発生量は、地震や津波などの災害情報、その災害に伴う被害要因により生じる被

害情報、災害廃棄物の発生量原単位を用いて推定される。災害情報については、計画段階においては、内閣府等において計測深度分布や津波浸水深データなどが公表されている。災害が発生した直後においては、気象庁の地震情報などの防災気象情報が発表される。災害に伴う被害要因により生じる被害情報については、計画段階においては、定量的な被害量として建物被害が想定されている。災害が発生した直後においては、災害対策基本法第 53 条において被害状況等の報告が定められており、当該災害の状況に関する報告事項のひとつに被害区分別の建物被害がある。ワーキンググループにおける災害廃棄物の発生量の推定方法として、精度が高く、かつ、できる限り簡易で、計画段階あるいは災害の直後においても実務的に使いやすい手法とする。このため、被害区分別の建物被害棟数から災害廃棄物の発生量を推定することとし、東日本大震災における実績値より住家の被害区分別の発生量原単位を推定することで、災害廃棄物の発生量の推定方法を示すこととする。

これにより、計画段階においては、計測震度分布や津波浸水深データなどの災害情報より、災害と建物の被害との関係を示す建物被害関数を用いることで、被害区分別の建物被害棟数を算出し、地域別に災害廃棄物の発生量を推定することができる。また、災害が発生した直後においては、総務省消防庁や消防・防災部局からの被害報を用いることで、災害廃棄物の発生量を簡易に推定することができる。

## 東日本大震災の実績を用いた災害廃棄物発生量原単位の推定と検証

### 東日本大震災における災害廃棄物量の実績データ

本稿では、岩手県、宮城県における東日本大震災での被災自治体を対象とした。岩手県における災害廃棄物量の実績データは、岩手県災害廃棄物処理詳細計画第二次（平成 25 年度）改訂版<sup>10</sup>を用いた。宮城県における実績データは、宮城県災害廃棄物処理実行計画（最終版）<sup>11</sup>を用いた。図 1.1-2 に岩手県、宮城県における災害廃棄物量の処理量実績値を示す。

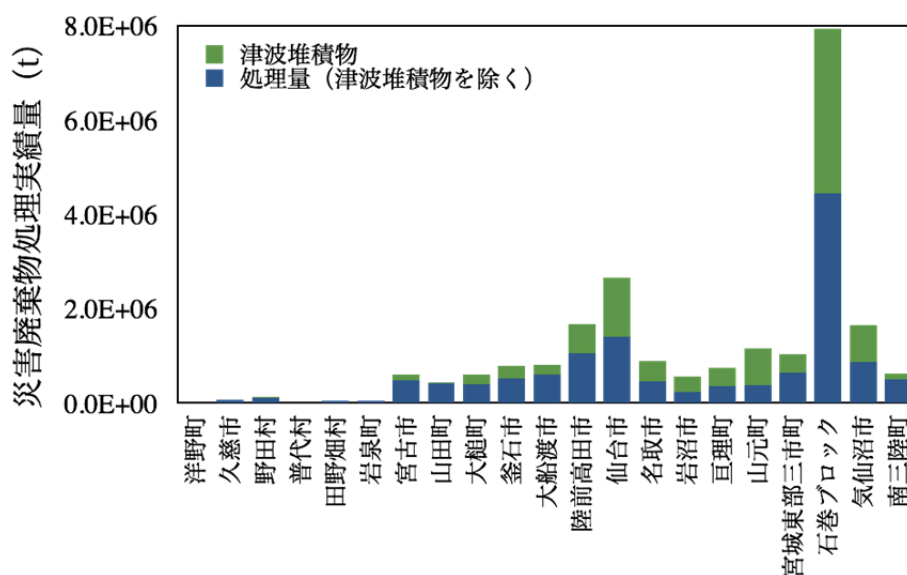


図 1.1-2 東日本大震災での岩手県、宮城県の災害廃棄物処理実績

## (2) 発生量原単位の推定手法

本研究では、災害前ならびに災害後の災害対応業務に活用することが可能となる発生量の推定手法を導出することを目的としていることから、災害廃棄物発生量原単位は、住家の被害区分別に推定することとした。図 1.1-3 に、阪神・淡路大震災と東日本大震災における市町村別の災害廃棄物の処理実績量と住家被害における全壊棟数との相関を示す。災害廃棄物の処理実績量と住家被害の全壊棟数との相関係数は  $r_s = 0.947$ ,  $n = 31$ ,  $P < 0.01$  であり、地震災害である阪神・淡路大震災、津波災害である東日本大震災のいずれにおいても、災害廃棄物発生量は住家の全壊棟数と高い相関があるといえる。

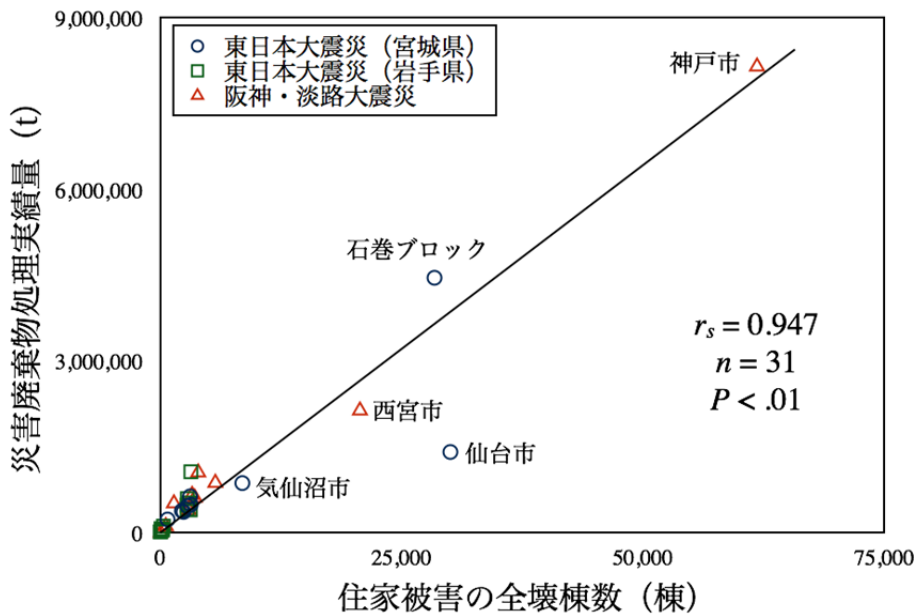


図 1.1-3 災害廃棄物処理実績値と住家の全壊棟数

消防庁や防災部局で取り纏めている被害報においては、全壊のみならず、大規模半壊、半壊、一部損壊、床上浸水、床下浸水などの被害区分がある。阪神・淡路大震災や新潟県中越地震等の地震災害においては、住家被害の被害要因は地震動や液状化、火災であることから、全壊、大規模半壊、半壊、一部破損や火災の棟数が被害報として報告される。風水害においては、床上浸水、床下浸水が主な住家被害となる。一方、東日本大震災のような地震津波災害では、住家の被害要因としては、地震動、液状化のみならず、津波の浸水による住家被害も生じる。しかしながら、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）被害報<sup>12)</sup>にみられるように、津波による激甚な被災により床上浸水、床下浸水の被害棟数が不明であることや、東日本大震災においては、災害に係る住家の被害認定基準運用指針<sup>13)</sup>における標準的な調査方法及び判定方法に対して、迅速化・簡素化に係る特例措置<sup>14)</sup>がとられたことなどから、全壊以外の被害区分については、市町村において必ずしも統一されているとはいえない、と考えられる。以上のことから、本研究で取り扱う住家の被害区分を全壊、その他半壊の2区分とし、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）被害報における半壊、一部破損、床上浸水、床下浸水を集計し、その他半壊とした。そのうえで、災害廃棄物処理量実績値を従属変数、全壊、その他半壊の被害棟数を説明変数として回帰分析を行った。データの解析には IBM SPSS 19.0J を用いた。

なお、災害廃棄物の処理量と全壊棟数の回帰モデルにおける回帰の標準化された残差のヒストグラムより、仙台市の事例が-7.3と大きくかけ離れていること、消防庁の被害報における全壊棟数 30,034 棟<sup>12)</sup>が、仙台市における公費解体と事後精算とによる損壊家屋等の解体実績値 10,226 件<sup>15)</sup>の3倍となっていることから、仙台市の事例をここでの解析には含めないこととした。また、災害の被害認定基準、岩手県における解体実績等により、半壊の発生原単位は全壊の20%という条件を用いて解析することとした。

### (3) 発生量原単位の推定結果ならびに考察

表 1.1-2 に重回帰モデルの係数を示す。モデルの決定係数は  $R^2 = 0.959$  であることから、このモデルの説明力は十分であるといえる。また、分散分析結果は、 $F(2, 19) = 331.610$  ( $p = .000$ ) であることから、5%水準で帰無仮説が棄却されることとなり、この回帰モデルは有意であるといえる。以上のことから、東日本大震災の実績を用いた災害廃棄物発生量原単位は、全壊 116.9 t/棟、その他半壊 23.4 t/棟と推定された。本研究で推定された発生量原単位は、住家に加えて公共建物、その他の被害を含む東日本大震災の処理量実績値より算出していることから、被災地域における被害全体を含んでいるといえる。その単位が1棟当たりの重量となっているが、建物1棟の解体に伴い発生するがれき量ではなく、対象地域における公共物などを含んだ地域全体における災害廃棄物量を推定するための発生量原単位である。つまり、災害前の被害想定結果や災害後の被害報における住家被害情報から、この発生量原単位を用いて推定することが可能となる。

表 1.1-2 災害廃棄物発生量原単位の推定結果

説明変数	非標準化係数	t 値	有意確率
全壊	116.883	17.745	0.000
その他半壊	23.376	5.609	0.000

### (4) まとめ

本研究では、東日本大震災の実績に基づき、災害廃棄物の発生量原単位を推定した。その結果、住家被害に関する情報を用いて、全壊 116.9 t/棟、その他半壊 23.4 t/棟という原単位より災害廃棄物量を推定することが可能となることを示した。今後、この原単位の適用範囲とその限界を把握するとともに、地域特性や災害の特徴を組み込んだよりきめ細やかな推定が可能となる手法を検討することが必要である。

### 参考文献

- 1) N. Hirayama et al. (2010) 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, 40, 167-178.
- 2) 厚生省 (1998) 震災廃棄物対策指針.
- 3) 一般社団法人廃棄物資源循環学会 (2011) 津波堆積物の量. 津波堆積物処理指針 (案), 2-3.

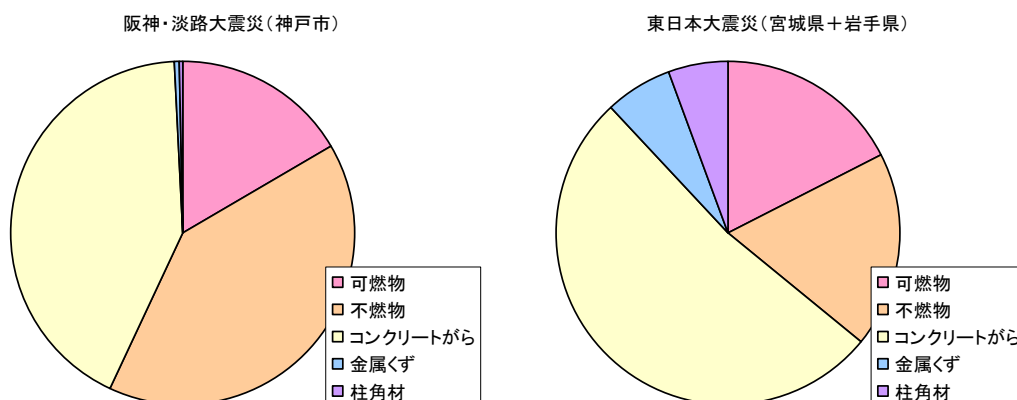
- 4) 高月紘, 酒井伸一, 水谷聡 (1995) 災害と廃棄物性状-災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化-. 廃棄物学会誌, 6(5), 351-359.
- 5) 兵庫県 (1996) 阪神・淡路大震災兵庫県の1年の記録, 244-251.
- 6) 環境省関東地方環境事務所廃棄物・リサイクル対策課 (2005) 大規模災害時の建設廃棄物等の有効利用及び適正処理方策検討調査報告書.
- 7) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 (2005) 水害廃棄物対策指針.
- 8) 平山修久, 河田恵昭 (2005) 水害時における行政の初動対応からみた災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究. 環境システム研究論文集, 33, 29-36.
- 9) 平山修久, 大迫政浩 (2013) 災害環境学の視点からみた災害廃棄物量的管理システムに関する検討. 環境衛生工学研究, 27(3), 192-195.
- 10) 岩手県 (2013) 岩手県災害廃棄物処理詳細計画第二次 (平成 25 年度) 改訂版.
- 11) 宮城県 (2013) 宮城県災害廃棄物処理実行計画 (最終版).
- 12) 消防庁 (2013) 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 148 報), 平成 25 年 9 月 9 日.
- 13) 内閣府 (2013) 災害に係る住家の被害認定基準運用指針.
- 14) 内閣府 (2013) 東日本大震災における特例措置等について, 災害に係る住家の被害認定に関する検討会.
- 15) 仙台市 (2013) 第 9 章 環境, 東日本大震災仙台市震災記録誌～発災から 1 年間の活動記録～, 379-414.

### 1.1.2 災害廃棄物の量的・質的推定手法・管理システムの構築

災害廃棄物処理を円滑に実施するためには、発災後に、その災害や被害状況に応じた、できる限り精度の高い災害廃棄物の量的・質的推定を行うことが必要となる。

#### (1) 災害廃棄物の質的推定方法の構築

ここでは、災害廃棄物に対して、その発生量のみならず、質、つまり、災害廃棄物の種類別に災害廃棄物量を推定する手法を検討する。算出する種類は、可燃物、不燃物、コンクリートがら、金属くず、柱角材とした。種類別割合は、阪神・淡路大震災及び東日本大震災における災害廃棄物の種類別の割合（実績）をもとに設定することとした。図 1.1-4 に災害廃棄物の種類別割合を示す。



項目	南海トラフ巨大地震	首都直下地震
可燃物	18%	10%
不燃物	18%	23%
コンクリートがら	52%	60%
金属くず	6.6%	0.03%
柱角材	5.4%	0.03%

図 1.1-4 災害廃棄物の種類別割合

これより、津波災害と伴う南海トラフ巨大地震については、津波を伴う災害であった東日本大震災（宮城県+岩手県）の種類別割合を、都市型巨大災害となる首都直下地震については、都市部における地震災害であった阪神・淡路大震災（神戸市）の種類別割合や東京都の既存の設定を参考に設定した値を用いることで、災害廃棄物の質的推定を行うことが可能となる。

災害廃棄物量的・質的の推定は、災害廃棄物対策においては重要である。しかしながら、災害廃棄物発生量や種類別の推定結果については、あくまでも想定された災害ハザード情報や被害情報に基づくものであり、あくまでも推定値にすぎないのである。災害対応業務の確立という視点からは、災害廃棄物発生量の推定結果は、あくまでも災害対応の態勢構築、つまり、どの程度の人、もの、お金、土地といった対応リソースが必要なのか、廃棄物・環境部局のみで対応可能なのか、土木部局、農林部局等の他部局との連携や対応チームが必要なのか、外部からの応援は必要なのか、どのような処理フローを構築することができるのか、という災害廃棄物処理実施計画を具体的に策定していくために推定するものであるといえる。したがって、発災後においては、被害情報の精度を向上するとともに、原単位の精度を、その被害特性や地域特性に適用させていくフローが必要となる。図 1.1-5 にその災害廃棄物量的・質的推定フローを示す。



今後は、このようなフローにより、災害廃棄物の量的・質的な推定結果をできる限り迅速かつ効率的に実績値に更新していくことが可能となる災害廃棄物処理業務システムの構築が必要である。

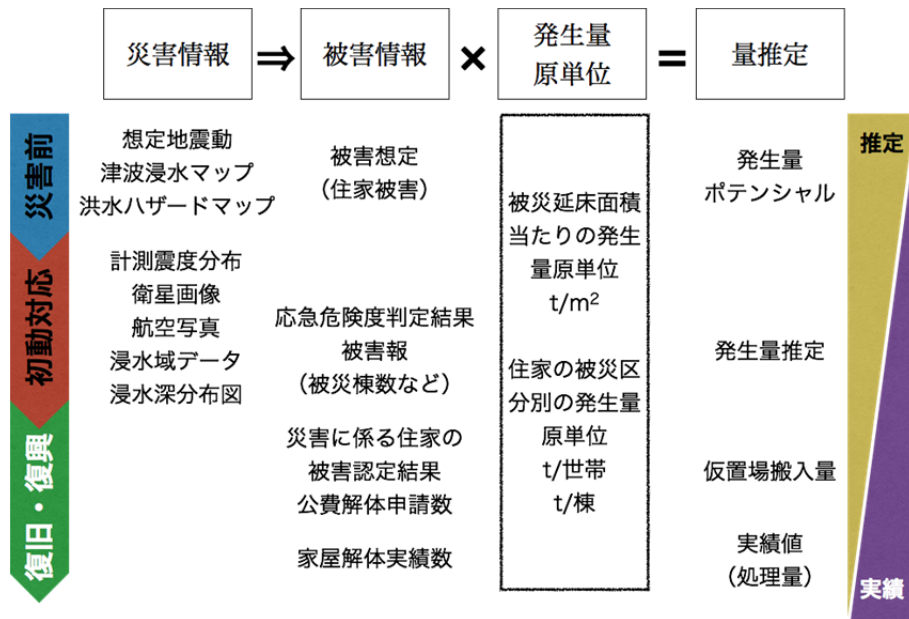


図 1.1-5 災害廃棄物の量的・質的推定フロー

### 1.1.3 災害廃棄物の 3R 方策に関する検討

#### (1) 住宅耐震化による災害廃棄物発生量ポテンシャルの定量的低減効果に関する研究

東日本大震災をはじめとして、自然災害時には家屋建築物の倒壊や被災住宅からの家財等より、一度に膨大な量の災害廃棄物が生じることとなる。災害時の市民の環境衛生面での安全・安心を確保するためには、効果的な災害廃棄物対応が必要であり、災害廃棄物マネジメントを構築することが肝要となる。しかしながら、阪神・淡路大震災や東日本大震災等の巨大災害においては、災害廃棄物の量・質が自治体の対応力や災害廃棄物マネジメント力を容易に越えることから、災害廃棄物に対する 3R をいかに構築するかが求められる。なかでも、災害廃棄物による循環社会・廃棄物システムへのインパクトを軽減するためには、災害廃棄物発生量ポテンシャルを低減することが重要である。ここでは、発生量ポテンシャルの低減策として住宅の耐震化施策をとりあげ、住宅耐震化施策のシナリオを用いて、首都直下地震における災害廃棄物発生量ポテンシャルを推定し、住宅耐震化率と発生量ポテンシャルとの関連性を明らかにする。

#### (2) 首都直下地震における災害廃棄物発生量ポテンシャル

ここでは、住宅耐震化による災害廃棄物発生量ポテンシャルの低減効果について、首都直下地震をケーススタディとしてとりあげる。

首都直下地震の被害想定は、政府の中央防災会議における専門調査会や環境省における巨大災害発生時における災害廃棄物対策検討会においてなされている。そこでは、地震の揺れ、液状化、火災による焼失など各要因による建物被害量と 1 棟当たり床面積から被害面積を算出し、面積当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実施している<sup>1)</sup>。平山ら<sup>2)</sup>は、



これまでに、災害のハザード情報と国勢調査等の社会システム情報とを用いた災害廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法を提案している。ここでは、地震動分布等のハザード情報と地域統計メッシュ等の社会システム情報に基づき、地理情報システム上の地域メッシュ別に被災世帯数を推定し、そのうえで、過去の災害から推定された発生量原単位を用いて、災害廃棄物発生量ポテンシャルを推定している。

本研究では、住宅耐震化による災害廃棄物発生量ポテンシャルの低減効果を明らかにすることが目的であることから、図 1.1-6 に示す住宅被害関数を用いて、災害廃棄物発生量ポテンシャルを推定する手法 3)を用いることとする。図 1.1-7 に首都直下地震（東京湾北部地震、M7.3）における災害廃棄物発生量ポテンシャル推定結果を示す。

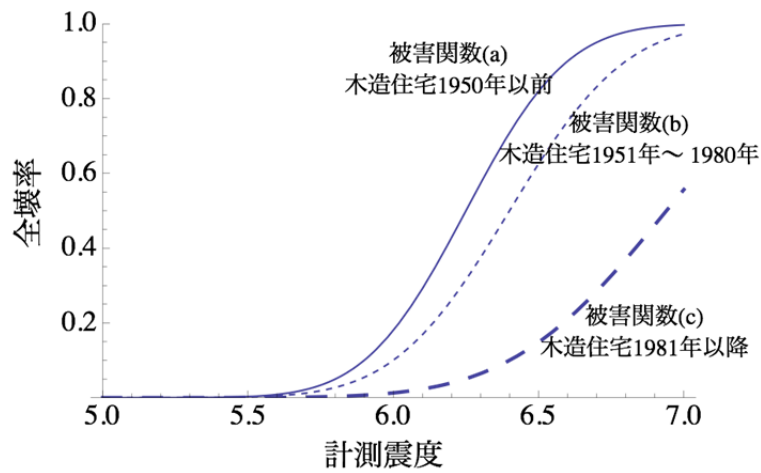


図 1.1-6 地震による住宅被害関数

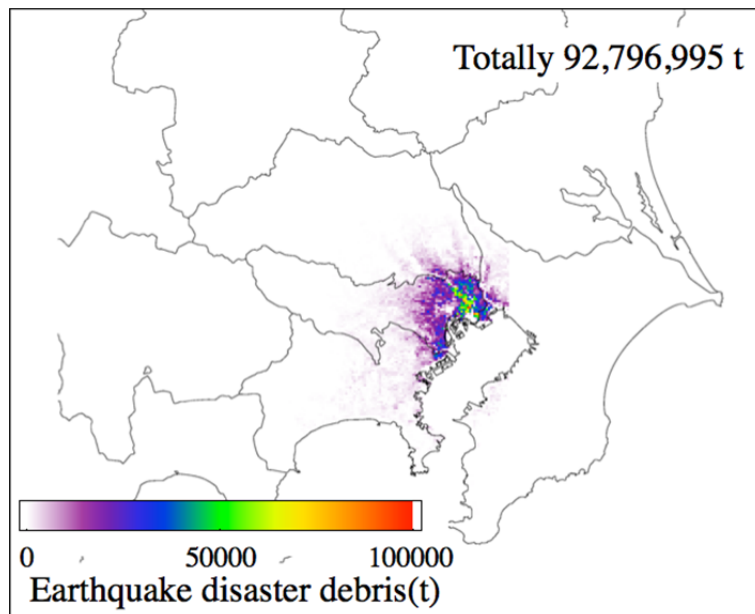


図 1.1-7 首都直下地震（東京湾北部地震、M7.3）における災害廃棄物量の推定結果

### (3) 住宅耐震化施策のシナリオ構築

ここでは、住宅耐震化施策のシナリオを構築する。まず、住宅耐震化による家屋被害軽減の効果について設定する。ここでは、住宅の建築の時期別に被害関数 (a)、(b)、(c) を適用しており、耐震基準の見直しが行われた 1981 年以降の木造住宅は全壊率が小さくなっている。表 1.1-3 に示すように、耐震改修がなされた住宅については、全壊率が小さい被害関数を適用することにより、その被害軽減の効果を表現することとした。つまり、1950 年以前に建造された木住宅において、耐震改修がなされた場合には、図 1.1-6 に示した地震による住宅被害関数のうち、被害関数 (c) を用いて全壊率を推定するものとした。なお、耐震基準の見直し後の 1981 年以降に建造された木造住宅においては、耐震回収後は被害なし、とした。

表 1.1-3 住宅の耐震化による被害軽減

住宅建築年	耐震化前	耐震化後
1950年以前	被害関数(a)	被害関数(c)
1951年～1980年	被害関数(b)	被害関数(c)
1981年以降	被害関数(c)	被害なし

つぎに、住宅の耐震化の進捗状況を住宅の建築年別に設定するものとした。表 1.1-4 にシナリオ別の住宅耐震化率を示す。シナリオ A-1～A-6 は、住宅の建築年別に耐震化率の違いがないものとした。シナリオ B-1 から C-5 については、1950 年以前に建築された住宅の耐震化を重点的に推進することとし、C-1 から C-5 については、耐震改修の世帯数が 200 万世帯以内となるように設定した。

表 1.1-4 耐震化率による住宅耐震化施策シナリオ

	耐震化世帯数 (世帯)	耐震化率 (%)		
		1950年以前	1951年～1980年	1981年以降
A-1	18,338,468	100	100	100
A-2	13,753,850	75	75	75
A-3	9,169,233	50	50	50
A-4	4,584,616	25	25	25
A-5	1,833,845	10	10	10
A-6	916,923	5	5	5
B-1	4,145,470	80	50	10
B-2	5,032,997	80	80	5
B-3	3,541,746	90	50	5
C-1	1,752,692	90	25	1
C-2	1,433,433	90	20	0.5
C-3	1,178,425	90	15	0.5
C-4	1,165,697	95	15	0.3
C-5	1,133,572	95	15	0

以上の住宅の耐震化シナリオを社会システム情報に組み込み、それぞれのシナリオ別に首都直下地震時における被害世帯数を推定したうえで、災害廃棄物発生量ポテンシャルを算出するものとした。

#### (4) 住宅耐震化による災害廃棄物発生量ポテンシャル低減効果

図 1.1-8 に耐震改修世帯数と首都直下地震における災害廃棄物発生量ポテンシャルの推定結果との関連を示す。

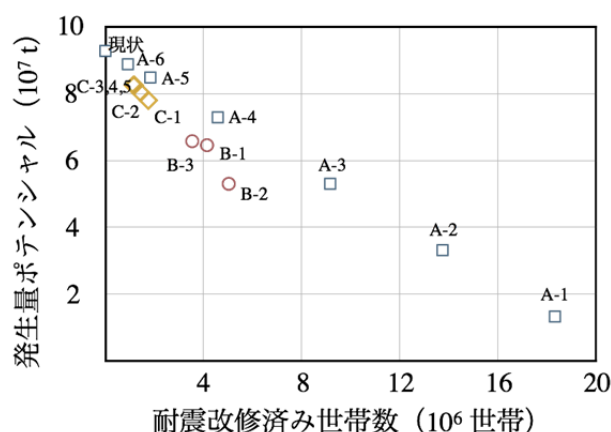


図 1.1-8 耐震改修世帯数と首都直下地震における災害廃棄物量

耐震化シナリオ A-1 から A-6 より、耐震化を推進することにより、災害廃棄物発生量ポテンシャルは低減する。しかしながら、ここでは、耐震基準の見直しにより建築基準法が改正された 1981 年以前の木造住宅については、耐震改修により、1981 年以降に建築された木造住宅と同程度の耐震能力とみなしている。つまり、すべての世帯が耐震改修できたとしても、1981 年以前に建築された住宅に居住する 548 万世帯のうち、全壊世帯数が 23、826 世帯、大規模半壊が 187,526 世帯の被害が生じることで、少なくとも 1328.8 万トンの災害廃棄物発生量ポテンシャルがあると推定された。耐震化シナリオ適用前の現状の 9279.7 万トンからは、85.7%の減量となっているが、耐震改修を実施する世帯数が 1833.8 万世帯であり、非現実的なシナリオである。しかしながら、今後は、耐震基準の見直し以前に建造された木造住宅の建て替えとともに、これらの住宅に対する耐震改修技術を高度化し、住家被害が軽減することが災害廃棄物発生量ポテンシャルの効果的な低減には必要であるといえよう。

また、耐震改修世帯数が 300 万世帯から 500 万世帯となる A-4 と B-1 から B-3 との比較より、効果的に災害廃棄物発生量ポテンシャルを低減するには、1950 年以前の木造住宅から耐震改修を実施することで、災害廃棄物発生量ポテンシャルをより低減することができる。また、100 万～150 万世帯を耐震改修するシナリオ A-6、C-1 から C-5 の結果より、100 万世帯の耐震改修により、災害廃棄物発生量ポテンシャルを 11%程度低減することができるといえる。

図 1.1-9 に耐震化シナリオ別の災害廃棄物発生量ポテンシャルの低減効果を示す。これより、効果的に災害廃棄物発生量ポテンシャルを低減するには、耐震改修に必要なリソースを住宅の建築時期別にどのように配分するのか検討することが必要であるといえよう。以上のことから、

現在自治体の防災部局を中心として推進されている住宅の耐震化施策は、命を守るだけでなく、災害廃棄物発生量ポテンシャルの低減という、災害時の市民の環境衛生面での安全・安心の確保のための災害対応を軽減することも定量的に示し得た。本稿は、あくまでも、住宅の耐震化施策をとりあげ、住宅耐震化施策のシナリオを用いて、首都直下地震における災害廃棄物発生量ポテンシャルを推定し、住宅耐震化率と発生量ポテンシャルとの関連性を明らかにしたものであることから、今後は、より実現性のある住宅耐震化シナリオによる検討を行うとともに、災害前の住宅耐震化推進に係る社会的費用と災害後の災害廃棄物処理に係る社会的費用とによる費用対効果分析を行い、確実に災害廃棄物の減量を推進することが重要である。

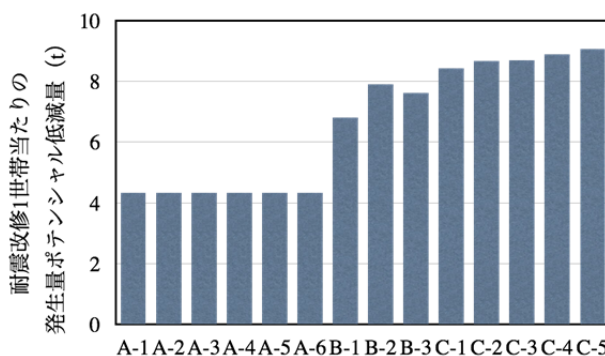


図 1.1-9 耐震化シナリオ別の災害廃棄物発生量低減効果

### (5) おわりに

本研究では、発生量ポテンシャルの低減策として住宅の耐震化施策をとりあげ、住宅耐震化施策のシナリオを用いて、首都直下地震における災害廃棄物発生量ポテンシャルを推定し、住宅耐震化率と発生量ポテンシャルとの関連性を明らかにした。その結果、災害廃棄物発生量ポテンシャルの効果的な低減には、防災部局も含めた住宅の耐震化施策を推進することが重要であることを定量的に示し得た。

### 参考文献

- 1) 内閣府防災担当 (2005) 建物被害, 首都直下地震に係る被害想定手法について。
- 2) N. Hirayama, T. Shimaoka, T. Fujiwara, T. Okayama & Y. Kawata (2010) 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*, 40, 167-178.
- 3) 平山修久, 大迫政浩 (2013) 災害環境学の視点からみた災害廃棄物量的管理システムに関する検討. *環境衛生工学研究*, 27(3), 192-195.

## 1.2 地域復旧・復興と連動した災害廃棄物処理技術システムの確立

### 1.2.1 災害廃棄物中間処理技術の評価<sup>1)</sup>

#### (1) はじめに

2011年に発生した東日本大震災は、大規模な津波を伴った未曾有の大災害であり、倒壊家屋等様々なものと津波堆積物が混ざり合った混合廃棄物が発生し、災害廃棄物の処理において必ずしも過去の経験が通用しなかった。被災状況や地域特性といった制約条件の中で、被災地ではさま

ざまな技術を導入し試行錯誤しながら処理を進め、平成 26 年 3 月末をもって福島県を除く被災地では災害廃棄物の処理が終了した。今後想定されている南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの大規模災害に備え、災害廃棄物の処理を円滑かつ適切に進めるために考慮すべき事項を、今回得られた経験をもとに整理しておく必要がある。

本研究では、東日本大震災における災害廃棄物処理に関する基礎情報や導入された処理技術等を整理し、統計解析手法を用いてこれら災害廃棄物処理に対する影響因子を抽出し、各因子間の関係性から、災害廃棄物処理に影響を与える重要因子を明らかにした。

## (2) 方法

災害廃棄物処理に関する基礎情報及び導入技術等に関する情報を既存資料<sup>2)~6)</sup>より整理するとともに、処理量等の最新のデータについて、岩手県、宮城県、市町村及び災害廃棄物処理事業者の協力を得てアンケート調査票を送付し、回答頂いたものを整理した。

### 1) 調査期間及び調査対象

平成 25 年 12 月～平成 26 年 1 月に表 1.2-1 に示す 16 ブロック・処理区を対象として、岩手県、宮城県（各県経由で処理場業者）に、また別途被災沿岸市町村にアンケート調査票を送付し回答を頂いた。

表 1.2-1 調査対象とした災害廃棄物処理のブロックおよび処理区

岩手県	久慈地区、宮古地区、山田地区、大槌地区、釜石市、大船渡市、陸前高田市
宮城県	気仙沼処理区、南三陸処理区、石巻ブロック、宮城東部ブロック、仙台市、名取処理区、岩沼処理区、亘理処理区、山元処理区

### 2) 調査項目

#### (a) 建物被害に関する情報

災害廃棄物の処理量や質との関係性に着目し、建物損壊棟数及び建物解体棟数について調べた。

#### (b) 災害廃棄物等の処理量及び質に関する情報

災害廃棄物等の以下に示す種類別（混合廃棄物量、木質系廃棄物量、可燃物、不燃物、選別残渣、コンクリートがら、アスファルトがら、金属くず、津波堆積物、漁具・漁網、廃プラスチック類、廃タイヤ、その他）・処理方法別（再生利用、焼却処理、最終処分）の処理量・広域処理量、焼却残渣率、焼却残渣の 3 成分（水分、灰分、可燃分）、津波堆積物の性状（砂質、シルト質、粘土質）等について調べた。

#### (c) 処理事業の実施体制に関する情報

実施体制が災害廃棄物処理に与える影響に着目し、処理事業者の状況（JV の構成企業数、企業の現業（建設事業者、解体事業者、産業廃棄物処理事業者等）、仮置場の情報（数、面積、設置期間）、選別に関する情報（選別品目数、ふるい数、選別人数）、広域処理の有無について調べた。

#### (d) 処理期間及び処理単価に関する情報

処理技術が処理期間（月）及び処理単価（円/トン）に与える影響に着目し、それぞれについて

調べた。

### (e) 災害廃棄物処理にあたってのボトルネックに関する情報

処理工程（解体、仮置・保管、焼却、最終処分、再生利用、その他）毎に処理のボトルネックになると想定した事項を列挙し、回答者に選択して頂いた。

#### 3) 解析

得られた情報より災害廃棄物処理に影響を与える重要な因子を次の手順で抽出した。まず、既存資料調査及びアンケート調査から得られた数値をブロック・処理区毎に整理した。なお、以下に示す項目は定性的データであることから、ダミー変数を設定して数値化した。

- ①処理事業者の現業：産業廃棄物処理業者または解体事業者の場合「1」、その他の場合「0」。
- ②JVの構成企業数：1社から5社の場合「0」、6社以上の場合「1」（全処理区の平均:5.7社）。
- ③災害廃棄物処理にあたってのボトルネック：仮置場の面積、用地・人材や機材の調達、住民との関係、再生利用・最終処分・広域処理先との協議、放射能の影響、塩分・水分の影響についてボトルネックであった場合「0」、そうでない場合「1」。
- ④広域処理の有無：広域処理を行った場合「0」、行わなかった場合「1」。
- ⑤分別困難度（津波堆積物の性状）：砂質の場合「0」、シルト質または粘土質の場合「1」。

次にダミー変数以外の全てのデータを平均値と標準偏差を用いて標準化した。標準化した処理期間、処理単価（円／トン）、処理単価（円／月）、再生率、焼却率、最終処分率、選別残渣率、焼却残渣率、混合廃棄物割合を目的変数とし、目的変数以外の195の全ての変数を説明変数として単回帰分析を行った。サンプル数を考慮し、相関係数が有意となる因子間の関係を抽出した。

#### (3) 結果

表1.2-2に単回帰分析の結果を示す。処理単価（円／トン）に影響を及ぼす因子として、A-①選別残渣率（%）、A-②焼却率（%）、A-③金属くずの再生率（%）、A-④処理期間（月）、A-⑤処理事業者の現業（-）、A-⑥住民との関係（-）が抽出された。A-①～③は災害廃棄物の選別の程度が反映した因子と考えられる。再生率（%）に影響を及ぼす因子としては、B-①最終処分率及びB-②最終処分の処理速度（トン／月）が抽出された。十分な処理期間があれば丁寧な選別が可能であり、結果として再生率が高くなることを示すと考えられる。焼却残渣率に影響を及ぼす要素としては、C-①展開選別の人数（人）、C-②単位面積あたりに仮置きする必要のある災害廃棄物量（トン／ $m^2$ ）、C-③最終処分の処理速度（トン／月）が抽出された。仮置場が広く確保でき、時間をかけて選別を丁寧に行うことで焼却残渣率が低くなることを示すと考えられる。混合廃棄物の割合（%）に影響を及ぼす要素としては、D-①仮置場の面積（-）、D-②処理事業者の現業（-）が抽出された。D-①については、仮置場面積が狭いほど混合状態の廃棄物が増加することを示すと考えられる。D-②については、産業廃棄物処理業者または解体事業者による処理では、より分別された状態で回収または保管が行われたことが示唆される。

表 1.2-2 単回帰分析の結果

目的変数		説明変数	相関係数	サンプル数	内容
処理単価 (円/トン)	A-①	選別残渣率 (%)	0.77 <sup>*</sup>	9	選別残渣率が高いと処理単価が高い
	A-②	焼却率 (%)	0.70 <sup>*</sup>	9	焼却率が高いと処理単価が高い
	A-③	金属くずの再生率 (%)	-0.77 <sup>*</sup>	9	金属くずの再生率が低いと処理単価が高い
	A-④	処理期間 (月)	-0.78 <sup>*</sup>	9	処理期間が短いと処理単価が高い
	A-⑤	処理事業者の現業 (-)※	-0.70 <sup>*</sup>	9	処理事業者に産業廃棄物処理業者または解体事業者が含まれない場合は、混合廃棄物の割合が高い
	A-⑥	住民との関係 (-) ※	0.70 <sup>*</sup>	9	住民との関係が処理に影響を与えたと答えたブロック・処理区ほど処理単価が高い
再生率 (%)	B-①	最終処分率 (%)	-0.91 <sup>**</sup>	16	最終処分率が低いほど再生率は高い
	B-②	最終処分の処理速度 (トン/月)	-0.84 <sup>**</sup>	16	最終処分の処理速度が遅いほど再生率は高い
焼却残渣率 (%)	C-①	展開選別の選別人数 (人)	-0.81 <sup>*</sup>	7	展開選別の人数が少ないほど焼却残渣率が高い
	C-②	単位面積あたりに仮置きする必要がある災害廃棄物量 (トン/m <sup>2</sup> )	0.73 <sup>*</sup>	9	単位面積あたりに仮置きする必要がある災害廃棄物量が多いほど焼却残渣率が高い
	C-③	最終処分の処理速度 (トン/月)	0.70 <sup>*</sup>	9	最終処分の処理速度が速いほど焼却残渣率は高い
混合廃棄物の割合 (%)	D-①	仮置場の面積 (-) ※	0.77 <sup>*</sup>	10	仮置場の面積が処理に影響を与えたと答えたブロック・処理区ほど混合廃棄物の割合が高い
	D-②	処理事業者の現業 (-) ※	-0.71 <sup>*</sup>	10	処理事業者に産業廃棄物処理業者または解体事業者が含まれない場合は、混合廃棄物の割合が高い

※ダミー変数を設定した項目

\*... 有意水準 0.05 において有意

\*\*... 有意水準 0.01 において有意

#### (4) おわりに

岩手県および宮城県において東日本大震災による災害廃棄物の処理状況等を調査し、処理単価、再生率、焼却残渣率、混合廃棄物割合等に影響する因子を単回帰分析によって抽出した。抽出された関係は、焼却や再生利用等の処理後の出口の設定が再生利用率や焼却残渣率に、仮置場における選別の程度が処理後の出口や費用に影響していたことを示した。

本研究において、アンケート調査では岩手県、宮城県、沿岸被災市町村及び廃棄物処理事業者に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 山田正人・平山修久・石垣智基・上田淳也・向阪悠佑 (2014) 東日本大震災の実績からみた災害廃棄物処理に対する影響要因分析, 第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会
- 2) 「岩手県災害廃棄物処理詳細計画 第二次 (平成 25 年度) 改訂版」(平成 25 年 5 月、岩手県)
- 3) 「宮城県災害廃棄物処理実行計画 (最終版)」(平成 25 年 4 月、宮城県)
- 4) 「災害廃棄物等処理の進捗状況 (3 県沿岸市町村 (避難区域を除く))」(環境省廃棄物・リサイクル対策部)、
- 5) 「都市清掃 VOL.65 NO.306 2012.3」(社団法人全国都市清掃会議)、
- 6) 「都市清掃 VOL.66 NO.312 2013.3」(社団法人全国都市清掃会議)

## 1.2.2 破碎選別技術の最適化

### (1)はじめに

東日本大震災によって発生した災害廃棄物の処理では、地方自治体が処理の主体となり、決められた期限内での処分が求められ、一般廃棄物の処理に則った可燃物と不燃物への破碎選別と焼却処理を主体とした処理システムが採用された。再生利用を主な出口とした産業廃棄物の処理技術の導入が進まず、災害廃棄物の復旧や復興のための資材等への活用が阻まれた。また、災害廃棄物には津波堆積物が大量に含まれていたため、可燃物を取り除いた後に埋立地に処分する以外に使い道がない残さが大量に発生した。今後の大規模災害に備えとして、今回の事例を踏まえ、災害廃棄物処理と復旧・復興を連携させるような災害廃棄物処理システムを確立する必要がある。

過年度においては、東日本大震災で発生した災害廃棄物等に対して、ふるい選別と展開場における手選別の現地実証試験を行って、災害廃棄物の性状に応じて再生利用を最大化する因子を検討した。本年度は、ベルトコンベアにおける手選別について、現地試験を行って選別効率に関する諸条件を検討した。

### (2)方法

表 1.2-3 選別試験における分類品目、作業人数、試験コード

分類数	品目名	作業人数	試験コード
6分類	①廃プラスチック類（安定型処分物）	2名	RUN6, RUN9
	②廃プラスチック類（塩ビ管）	3名	RUN2, RUN4,
	③廃プラスチック類（軟質）		
6分類	④廃プラスチック類（硬質）	4名	RUN8, RUN10
	⑤木くず		
	⑥紙くず		
	⑦金属くず		
7分類	①廃プラスチック類（安定型処分物） ②廃プラスチック類（塩ビ管） ③廃プラスチック類（軟質） ④廃プラスチック類（硬質） ⑤木くず ⑥紙くず ⑦金属くず	3名	RUN5, RUN7
12分類	①廃プラスチック類（安定型処分物） ②廃プラスチック類（塩ビ管） ③廃プラスチック類（軟質） ④廃プラスチック類（硬質） ⑤木くず ⑥紙くず ⑦鉄くず ⑧非鉄金属 ⑨がれき類 ⑩石膏ボード ⑪その他焼却対象物 ⑫スプレー缶・乾電池	5名*	RUN1, RUN3,

\* 各人が2~3品目ずつを分担して選別

民間の産業廃棄物破碎選別施設で稼働しているベルトコンベアによる手選別ラインを借用して、施設に搬入された粗選別、篩分け後の建設混合廃棄物について、所定の時間内および投入速度で選別品目数と選別作業人数を変えた場合の選別量等を計測した。



試験に用いたベルトコンベアは全長約 10.62m、ベルト幅 1m（コンベア幅 1.5m）、高さ 0.55m であり、ベルトスピードは 16.8m/min である。ベルト速度は 16.8m/min で、最大 6 名の作業員が配置される。

試験では、予め選別対象とする建設混合廃棄物の組成を測定した上で、選別対象廃棄物量を 25 m<sup>3</sup>/h、作業時間を 30min（すなわち、1 回あたり 12.5 m<sup>3</sup>）に固定し、選別にあたる作業人数（2～5 名）と選別品目数（6～12 品目）を変えて、各品目の選別量を計測した。作業人数と選別品目数の組み合わせを表 1.2-3 に示す。作業員は民間の産業廃棄物破碎選別施設で選別作業に従事している従業員である。

### (3) 結果と考察

試験に用いた建設混合廃棄物の性状を表 1.2-4 に示す。RUN 1 と 2 で用いた試料で測定した可燃物中の廃プラスチック類（安定型処分物）、廃プラスチック類（塩ビ管）、廃プラスチック類（軟質）、廃プラスチック類（硬質）、紙くずの全重量ベースでの組成は、それぞれ 2.35%、5.01%、4.50%、1.53%、2.45%であった。

表 1.2-4 試験に用いた建設混合廃棄物の性状

組成		RUN1&2	RUN3&4	RUN5&6	RUN7&8	RUN9&10
比重	g/cm <sup>3</sup>	0.93	0.74	0.90	1.02	1.04
含水率	重量%	11%	7.5%	8.9%	10%	12%
可燃物	重量%	20%	9%	14%	13%	26%
木くず	重量%	7.0%	1.4%	1.3%	1.4%	5.8%
不燃物	重量%	41%	17%	41%	46%	35%
金属くず	重量%	11%	1.2%	3.2%	5.4%	13%
石膏ボード	重量%	1.6%	2.7%	2.3%	0.5%	—
混合物	重量%	3%	—	—	—	7.7%
廃家電製品	重量%	0.3%	2.2%	—	—	—
危険物等	重量%	0.06%	—	—	0.03%	0.03%
残渣	重量%	16%	67%	38%	34%	13%

図 1.2-1 に選別試験結果を各品目の回収重量で示す。12 分類の品目を選別した場合の回収量は平均で約 1,000 kg であり、7 分類では平均で約 400kg であった。6 分類では平均で 270～380kg であり、選別人数と回収量には明確な関係がみられなかった。全ての試験に共通する廃プラスチック類（安定型処分物）、廃プラスチック類（塩ビ管）、廃プラスチック類（軟質）、廃プラスチック類（硬質）、木くず、紙くずの回収量は 270～380 kg で人数や分類品目数との明確な関係は見られなかった。これを一人あたりに直すと、12 分類の品目を選別した場合は 56 kg/人であり、3～4 分類の品目を 2～4 人で選別した場合は 90～146 kg/人となった。作業人数と選別量には明確な関係はないが、選別する品目を分担すると個々の品目の一人あたりの回収量が低下することが示唆された。

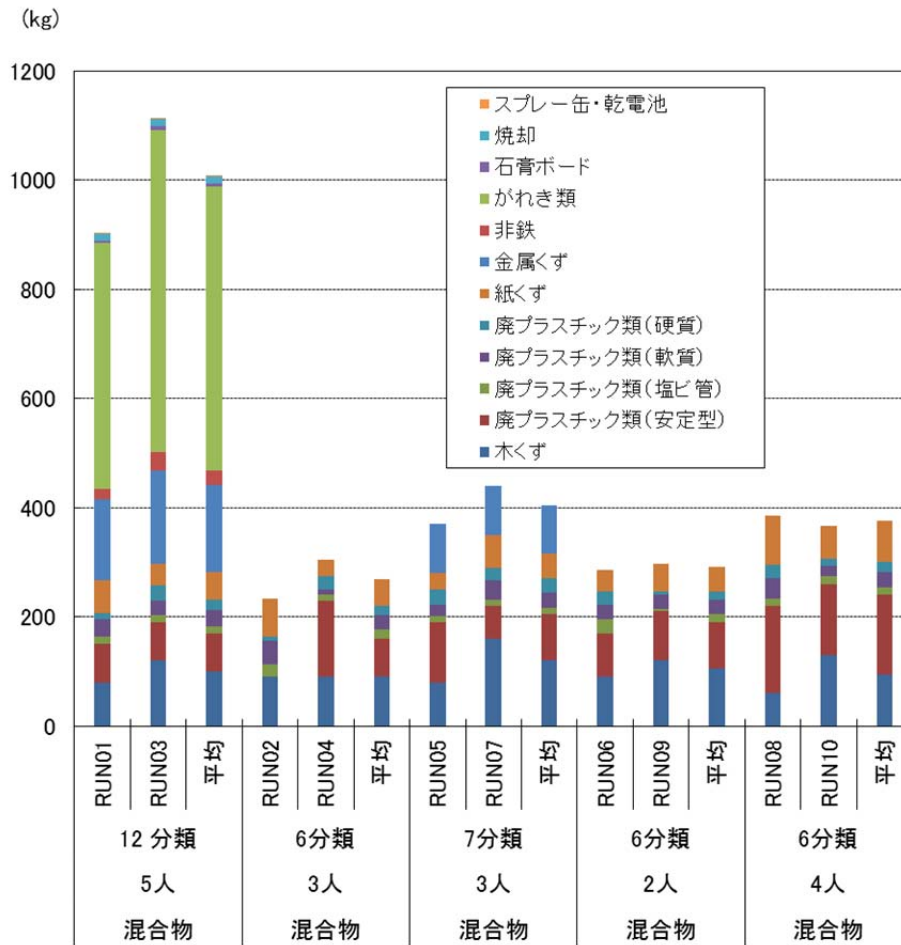


図 1.2-1 各試験における回収量（重量）

#### (4) おわりに

災害廃棄物処理と復旧・復興を連携させるような災害廃棄物処理システムを確立するため、建設混合廃棄物を用いてベルトコンベアによる手選別ラインを用いた選別試験を行った。12.5 m<sup>3</sup>/30min の条件で 6 品目の一人あたりの選別量は 56～146 kg であった。2～5 名の範囲では作業人数と総選別量には明確な関係はないが、選別する品目を分担すると個々の品目の一人あたりの回収量が低下することが示唆された。

### 1.2.3 災害廃棄物中の石綿の適正管理

#### (1) はじめに

石綿含有建材を使用した建築物の倒壊・損傷により発生した災害廃棄物、またこれら建築物の解体により発生した解体廃棄物中には石綿含有物が混入する可能性がある。よって、災害廃棄物処理作業や被災建築物解体作業の従事者は石綿にばく露されるおそれがあり、石綿ばく露による健康被害の防止が重要な課題である。このような災害時の石綿飛散やばく露対策について、環境省より「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」が発出されており<sup>1)</sup>、また東日

本大震災後には石綿飛散防止を啓発する各種の通知等が発出されている<sup>2)</sup>。しかしながら、建築物解体に伴う石綿飛散事例も幾つか報告されている<sup>3)</sup>ことから、災害発生時の石綿の管理には課題があるものと考えられる。

よって、既存の石綿飛散防止対策の評価や今後配慮すべき点を抽出することを最終的な目的として、東日本大震災の災害廃棄物処理に携わった各自治体に対して下記の事例をアンケート調査により収集することとした。

①石綿飛散防止のために実施した措置や留意点、②石綿含有廃棄物の処理量・処理方法、③被災自治体における災害廃棄物や石綿含有物の処理の状況、④東日本大震災を踏まえ、今後起こりうる災害での石綿含有物の処理における留意点。

## (2) 方法

### 1) アンケート送付先の選定

アンケート調査は東日本大震災の被災県である岩手、宮城、福島、茨城、千葉の5県と、これら県内の17自治体を対象として実施した。対象自治体については、下記の手順に従って選定した。

①岩手県、宮城県、福島県(沿岸部)については、環境省資料<sup>4)</sup>から原則として災害廃棄物の量が多い自治体を選定した。具体的には、災害廃棄物400千t以上の自治体とした。

②福島県(内陸部)、茨城県、千葉県については、国土交通省資料<sup>5)</sup>から被災建築物応急危険度判定で危険(赤)に判定された建築物が多い自治体(各県で上位2自治体)を選定した。

以上に調査対象とした自治体を示す。

①岩手県：岩手県庁、宮古市、山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市

②宮城県※：宮城県庁、女川町、石巻市、多賀城市、仙台市

③福島県：福島県庁、南相馬市、いわき市、郡山市

④茨城県：茨城県庁、常陸太田市、高萩市

⑤千葉県：千葉県庁、旭市、香取市

※ 宮城県では、県がその災害廃棄物の大部分を処理した自治体もあったことから、同県への事前ヒアリングで県から推薦のあった自治体にアンケートを依頼した。

### 2) アンケート内容

アンケート内容は以下の通りとした。なお、アンケート実施前に設問内容や実施方法について宮城県と岩手県に事前にヒアリングを行い、得られた意見はアンケート設問内容に反映させた。アンケート調査票について、章末に示す。

①災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法

- ・ 廃石綿、石綿含有物廃棄物の処理量も確認する。
- ・ 津波堆積物を除く。

②廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法

- ・ 石綿含有分析の公定法以外の迅速法の実施状況を確認する。
- ・ 分別・回収のため、または集積場からの飛散防止対策のために建材中の石綿含有を確認する場合、その採取場所ごとに確認する。

- ・大気中の分析方法についても確認する。
- ③石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理
  - ・実施したリスク管理の具体的な方法について確認する。
  - ・処理における留意事項を確認する。
- ④災害廃棄物に関する委託業者への指示内容
  - ・実際に指示した内容を確認する。
- ⑤災害廃棄物処理計画の活用
  - ・災害廃棄物処理計画の策定状況と有用性を確認する。
- ⑥その他意見
  - ・自由記載

### 3) アンケートの方法

アンケート調査票を各自治体の担当者に郵送または電子メールで発送し、回答を得た。発送日は2014年11月27日であり、回答期間は2014年12月22日から2015年1月15日までとした。

#### (3) 結果と考察

アンケート調査票を22の自治体（5県、17市町村）に送付し、21自治体から回答があった（回収率95%）。なお、岩手県からは県が代行処理を行った地区（A町、B町、C町）別の3回答があった。また、福島県は市町村が処理、再利用まで行っており、県は災害廃棄物処理に関与していないため、アンケートの設問に該当する部分が全くないとして回答がなかった。また、アンケート調査にあたり、設問に該当しない場合は記入せずに該当部分のみ回答するよう依頼した。該当しないケースを下記に整理した。

- ①千葉県、茨城県：市町村が処理、再利用まで行っており、県は直接、災害廃棄物を処理していない。このため、災害廃棄物の処理、再利用関連は回答なしであるが、災害廃棄物処理計画の活用の項目には回答があった。
- ②仙台市を除く宮城県の市町村、岩手県の多くは、県が二次仮置場以降の代行処理をしたため、これに該当する宮城県（女川町、石巻市、多賀城市）と岩手県（A市、B町、C町）は二次仮置場以降の回答及び災害廃棄物量のデータがない。

#### 1) 災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法

各自治体で把握している廃石綿等及び石綿含有廃棄物の推定発生量、処分量、処分方法を表1.2-5に示す。廃石綿等の処分量は4～2,372トン、石綿含有廃棄物の処分量は3～23,964トンの範囲であり、災害廃棄物処分量全体に占める廃石綿処分量の割合は0.0014～0.34%、石綿含有廃棄物処分量の割合は0.0006～3.5%の範囲であった。但し、自治体によっては、ボード状の建材を見なし石綿含有として処理しており、実際の処分量はこれよりも少ない可能性がある。

災害廃棄物中の石綿含有物の量に関する情報はごく少ない。震災ではないが、2012年5月につくば市で発生した竜巻被害においては、災害廃棄物処分量が12,539.88トンであったのに対し、石綿含有廃棄物処分量が12.96トンであった（災害廃棄物全体に占める割合は0.10%）<sup>6)</sup>。また、京都大学の川端らは震災時の石綿含有廃棄物発生量の推計を仙台市をモデルケースとして実施し

ており、石綿含有廃棄物発生量は構造別原単位からは約17,200トン、用途別原単位からは約16,600トンと推定された(仙台市のがれき処分量実績の1.2~1.3%)<sup>7)</sup>。

また、廃石綿等及び石綿含有廃棄物の処分方法は全て「埋立処分」であった。

表 1.2-5 各自治体における廃石綿等及び石綿含有廃棄物の発生量、処分量、処分方法

県	自治体	廃石綿等				石綿含有廃棄物			
		推定発生量 (t)	処分量 (t)	災害廃棄物全体に占める割合 (%)	処分方法	推定発生量 (t)	処分量 (t)	災害廃棄物全体に占める割合 (%)	処分方法
岩手県	A市 (県委託)	なし	0	0		なし	199	0.022	埋立
	B町 (県委託)	0	0	0		30	3	0.0006	埋立
	C町 (県委託)	なし	0	0		なし	3	0.0009	埋立
	D市	397	397	0.042	埋立	67.62	67.62	0.0072	埋立
	E市	0	12	0.0014	埋立	0	21	0.0025	埋立
	F市						170	0.0084	埋立
宮城県	宮城県		21,240 <sup>a)</sup>	0.34	埋立				
	G市		1,397	0.10	埋立 <sup>b)</sup>				埋立 <sup>c)</sup>
	H市	4	4		埋立				
	I市	2,372	2,372		埋立				
	J町	100	100		埋立				
福島県	K市					3,398	1,086	1.3	埋立
	L市				埋立	23,964	23,964	3.5	埋立
	M市	280	280	0.080	埋立	1,097	1,097	0.31	埋立
茨城県	N市					3	3	0.0051	埋立
	O市					1,602	1,602	2.2	埋立
千葉県	P市	198	198	0.30	埋立	198	198	0.30	埋立
	Q市								

a) 石綿含有廃棄物と区別無く廃石綿等に計上。b) 廃石綿等は解体現場にて撤去・密封し市内民間管理型最終処分場に直送・埋立。c) 石綿含有廃棄物は解体現場にて撤去・密封後、搬入場(一次、二次仮置場を一元化したもの)に一時保管を行い、市内民間管理型最終処分場に埋立。

災害廃棄物の種類ごとの発生量、処分量、処分方法について、表 1.2-6 にまとめた。

表 1.2-6 各自治体における災害廃棄物の種類別発生量、処分量、処分方法

県	自治体	可燃物(木くず以外)			木くず			不燃混合物(瓦、陶磁器含む)			コンクリートくず			金属くず			漁具・漁網			その他			
		発生量	処分量	処分方法*	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	
岩手県	A市 (県委託)	データなし																					
	B町 (県委託)	データなし																					
	C町 (県委託)	データなし																					
	D市	53,545	53,562	A,D	1,598	1,604	D	110,550	111,271	A,E	256,301	256,301	A	28,437	28,437	A	1,827	1,824	D,E	576	596	A,D,E	
	E市	86,405	86,397	A,D	12,295	11,701	A,D	71,989	71,999	A,D	541,120	541,862	A	36,325	36,282	A	3,258	3,266	A,D,E	1,710	1,726	A,D,E	
	F市	159,031	158,993	A,D	7,951	7,954	A	125,949	125,949	A,D	268,247	268,247	A	34,134	34,134	A	5,042	5,186	D,E	23,213	23,945	A,D,E	
	F市	122,742	129,778	A,D	19,643	19,643	A	300,880	345,531	A,D	589,751	644,580	A	36,900	37,253	A	3,228	3,226	D,E	4,820	5,307	A,D,E	
宮城県	宮城県		1,178,218	A,D,E		410,857	A,B,E		2,022,442	A,D,E		2,142,113	A		78,355	A						372,540	A,D,E
	G市	310,000	163,199	D		98,794	A,C	100,000	126,255	E	610,000	769,195	A	20,000	74,297	A							
	H市	データなし																					
	I市	データなし																					
	J町	データなし																					
福島県	K市	3,205	1,047	D	74,120	12,199	D	204,007	10,940	A,E	179,620	49,866	A	15,942	11,226	A							
	L市	70,022	67,272	A,B,C,D	102,278	102,248	A	111,022	110,102	A,E	333,176	333,157	A	22,505	22,484	A					43,513	41,810	A,B,C,D,E
	M市	1,675	1,675	B,C	24,004	24,004	B,C	67,329	67,329	A,E	252,900	252,900	A,E	5,890	5,890	A							
茨城県	茨城県	データなし																					
	N市				9,873	9,873	B	19,667	19,667	A	26,304	26,304	A								2,921	2,921	D,E
	O市	477	477	B,C	10,612	10,612	A,B,C	34,178	34,178	A,E	20,549	20,549	A,E	137	137	A					6,495	6,495	A,E
千葉県	千葉県	14,012	14,012	C,D	16,681	16,681	A,C	34,203	34,203	A,E	57,340	57,340	A	1,189	1,189	A					3,335	3,335	A,E
	P市	5,500	5,500	B,C,D	7,200	7,200	A	27,100	27,100	E	24,000	24,000	E	1,000	1,000	E					270	270	-
	Q市		105	C		5,316	C		6,298	A,E		13,326	A										

\*A: 再生利用、B: 焼却+発電、C: 焼却+熱利用、D: 単純焼却、E: 埋立処分。

表 1.2-7 石綿含有物の有無の確認方法

方法	発生現場 (n=21)	一次仮置場 (n=21)	二次仮置場 * (n=10)
目視のみ	9	14	7
迅速測定法**	1 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>	1 <sup>b</sup>
公定法(JIS 法)	6	5	4
その他	6	3	1
未実施	5	4	0

\* 二次仮置場とは破砕選別や仮設焼却施設を有し、二次処理を行う施設をいう。

\*\* 迅速判定法について、a はルーペによる観察、b は近赤外線反射分光法(ハンディ型)による観察であった。

## 2) 廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法

災害廃棄物の発生現場、一次及び二次仮置場において、廃石綿等及び石綿含有廃棄物（以下、両者をまとめて「石綿含有物」という。）の有無を確認した方法について、表 1.2-7 にまとめた（いずれも複数回答可）。発生現場、仮置場ともに「目視のみ」が最多であり、次いで「公定法（JIS 法）」が多かった。「その他」の回答として、発生現場では、解体家屋の構造や建築年から石綿含有建材の有無を推定し、事前調査で目視等により建材の有無を確認したとする回答が多かった。その上で、疑わしい建材や過去の建物調査で石綿使用が確認されている建築物については、公定法により確認したとの回答があった。一次仮置場では、目視により疑わしいものを全て分別し、スレート板等は公定法により分析したとの回答があった。

発生現場及び一次仮置場においては「未実施」とした回答もあったが、二次仮置場では「未実施」とした回答はなかった。これは、発生現場からの搬出や一次仮置場への搬入と比較して二次仮置場への搬入には時間的な余裕があったこと、二次仮置場で行われる破砕選別等の処理工程に石綿含有物が混入することを避けるためと考えられた。

目視判定により石綿含有が疑われた建材の扱いに関する設問の回答（n=21、複数回答可）では、「疑わしい場合は、そのまま廃石綿等または石綿含有廃棄物とみなして対応した」が 16 回答と最多であり、「簡易測定法により石綿含有を確認し、他の災害廃棄物と区分した」が 2 回答、「簡易測定法で石綿含有が確認できなかった場合は、公定法などで追加分析をして確認した」が 3 回答、「一次仮置場において区分しておき、公定法による分析結果を待って処理方法を判断した」が 3 回答、「二次仮置場において個別に公定法などで分析し、その結果を待って処理方法を判断した」が 2 回答、「その他」が 4 回答であった。

廃棄物中の石綿含有量の測定への迅速測定法の適用に関する設問の回答（n=18、複数回答可）では、実施の有無と、重要性の認識（「重要と考えるが実施できなかった」）についてそれぞれ回答を求めた。実施の有無についての設問では、未実施との回答が 13 であったのに対し、実施したとする回答は 4 にとどまった。その内訳は、「一次仮置場搬入時」が 1 回答、「二次仮置場搬入時」が 2 回答、「二次処理後の処理物や再生資材の含有量測定」が 1 回答であり、「解体前事前調査」や「解体現場」はともに 0 回答であった。重要性の認識については、認識がなかったとした回答が 1、認識があったとする回答は 5 であった。その内訳は「一次仮置場搬入時の混入の有無の判

別」が3回答、「二次仮置場搬入時の混入の有無の判別」が2回答であった。重要性の認識がありながらも実施できなかった理由としては、「災害廃棄物の迅速な処理が必要であった」、「測定結果を待っての対応では作業員のばく露のおそれがあり、測定の間現場を止めるといった時間的余裕もなく、防じんマスクの着用指導で対応」、「解体予定の建物を全て目視検査し、その結果をもとに定性・定量分析を行った」との回答があった。

このことから、各自治体の担当者には、仮置場搬入時の石綿含有物の分別は重要であり、その方法として迅速判定方法が有効との認識が少なからずあると考えられ、本課題で開発した迅速判定方法がこれら自治体に受け入れられる余地があると考えられる。

### 3) 石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理

石綿のリスクの認識時期についての設問に対する回答（n=21）では、「東日本大震災以前からよく認識していた」が14回答と、3分の2の自治体で石綿のリスクがよく認識されていた。「東日本大震災以前から概略は認識していたが、飛散対策の必要性までは認識していなかった」が7回答あった。これらの自治体のうち、「東日本大震災後の国や関係機関からの通達により認識した」が3回答、「その他」が1回答であった。「その他」とした自治体は、「環境省の第1次モニタリングで石綿が検出されたため」と回答した。

石綿リスクの認識後の事業者への指示内容や対策の強化について設問に対する回答（n=12、複数回答可）では、「大気中石綿濃度または総繊維数濃度を測定する頻度・地点の増加」が1回答、「建築物解体の事前調査の徹底」が6回答、「解体現場や仮置場等でのばく露、飛散防止対策の徹底」が9、「石綿用マスク使用の徹底」が8回答、「その他」が2回答であった。

以上から、自治体では石綿のリスクについてはある程度の認識を持ち、解体現場や仮置場等でのばく露、飛散防止対策を実施していたことが伺われた。一方で、飛散防止対策の認識が不足していた自治体もあり、これら自治体への啓発が必要であると考えられた。

大気中の石綿濃度の測定頻度と測定方法についての設問に対する回答を表 1.2-8~1.2-10 にまとめた。測定頻度について、発生現場では「未実施」が11回答、「必要に応じて」と「その他」が5回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「四半期に1度実施」という回答があった。仮置場の一般環境では「その他」が9回答、「未実施」が7回答、「必要に応じて」が4回答、「毎日」が3回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「処理区によって異なる(月1回~必要に応じて)」、「敷地境界において月1回」、「仮置場毎に2月に1回」、「年2回」という回答があった。仮置場の作業環境では「その他」が9回答、「未実施」が7回答、「必要に応じて」が5回答、「毎日」が4回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「処理区によって異なる(月1回~必要に応じて)」、「中間処理施設で業務開始前、業務中(月1回)、終了後に実施」、「年4回」、「月1回」という回答があった。実施しなかった理由についても訊ねており、発生現場では「発災後の混乱時に実施する余裕がない」、「解体前に石綿含有建材の有無を調査し、含有のある場合には建材除去後に解体を行ったため大気測定は行わなかった」等の回答があった。仮置場の一般環境では「周辺に人家等が無いため実施せず(作業環境測定は実施)」、仮置場の作業環境では「測定結果を待っての対応では作業員のばく露のおそれがあり、測定の間現場を止めるといった時間的余裕もなく、防じんマスクの着用指導で対応」等の回答があった。



表 1.2-8 大気中の石綿濃度の測定頻度

方法	発生現場 (n=21)	仮置場一般環境 (n=20)	仮置場作業環境 (n=21)
必要に応じて	5	4	5
週に1度	0	0	0
毎日	0	3	4
その他	5	9	9
未実施	11	7	7

表 1.2-9 測定地点

方法	発生現場 (n=9)	仮置場一般環境 (n=13)	仮置場作業環境 (n=12)
風下のみ	0	3	1
必要に応じた箇所	4	8	8
周囲4点以上	5	3	3

表 1.2-10 測定方法(複数回答可)

方法	発生現場 (n=9)	仮置場一般環境 (n=13)	仮置場作業環境 (n=12)
迅速測定法	2	4	6
公定法 (環境省マニュアルまたはJIS法)	7	12	10
その他	1	0	1

測定地点については、発生現場では「必要に応じた箇所」が4回答、「周囲4点以上」が5回答であった。仮置場一般環境と作業環境では「必要に応じた箇所」が最も多く、次いで「周囲4点以上」、「風下のみ」の順であった。

測定方法については、主には「公定法」が採用されていた、仮置場の作業環境では「迅速測定法」が6回答と多くなっている。「迅速測定法」としては、いわゆるファイバーモニター（繊維状粒子測定装置）が発生現場で1回答、仮置場一般環境で2回答、仮置場作業環境で3回答と、リアルタイムで繊維状粒子の気中濃度を確認できる機器を導入している自治体もあった。

石綿のばく露防止対策、飛散防止対策として、各局面で実施した対策、また重要と考えられる事項について訊ねた。平時に実施した対策 (n=16、複数回答可) として、「石綿含有建築物のリストを作成した」が6回答、「災害時に自治体内で石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整した」が6回答、「耐震補強を推進し石綿含有建築物の被災を最小限とするようにした」が2回答、「被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立した」が0回答、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込んだ」が3回答、「被災時には集

積場（仮置場）の場所と面積を確保できるようにしている」が5回答、「その他」が2回答であった。また、重要と考えられる事項（n=22、複数回答可）として、「平時より石綿含有建築物のリストを作成する」が13回答、「災害時は自治体内で石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整しておく」が16回答、「耐震補強を推進し石綿含有建築物の被災を最小限として災害廃棄物の発生量を削減する」が5回答、「被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立する」が2回答、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込む」が12回答、「集積場（仮置き場）の場所と面積の確保を検討する」が11回答、「その他」が2回答であった。「その他」は「埋立処分場の確保」、「石綿に関する情報の収集」との回答であった。組織内で完結できるな「石綿含有建築物リストの作成」「石綿情報の共有」との回答が多く、「仮置場用地の確保」、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿の具体的な処理計画を盛り込む」と続いている。予算面での手当が必要な「耐震補強の推進」、また個別自治体での取組が困難と思われる「石綿含有廃棄物発生量を想定する方法の確立」の回答は少なかった。

発生現場での対策（n=19、複数回答可）として、「石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った」が15回答、「罹災証明時に石綿含有建材の調査を行った」が1回答、「吹付け材をビニールシートで覆い応急措置をした」が6回答、「石綿用マスクの使用を徹底させた」が14回答、「石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した」が8回答、「大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し石綿の飛散防止を確認した」が5回答、「石綿含有物が存在する箇所をロープ等により立入禁止とし石綿ばく露を防止した」が7回答、「その他」が5回答、「対策をしなかった（石綿飛散を想定しなかった）」が1回答であった。また、重要と考えられる事項（n=21、複数回答可）として、「倒壊、破損した建築物の事前調査の徹底」が14回答、「現地での廃棄物中の石綿含有量の迅速測定法を確立」が10回答、「解体作業などで防塵マスクや保護衣の使用を周知」が21回答、「その他」が1回答であった。「その他」は「関係団体を対象としたアスベスト対策講習会の実施」との回答であった。対策として「飛散及びばく露防止の注意喚起」、「石綿用マスクの使用の徹底」の回答が多く、重要と考えられる事項として「事前調査の徹底」「防塵マスクや保護衣の使用の周知」が挙げられている。

仮置場での対策（n=19、複数回答可）として、「石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った」が13回答、「石綿用マスクの使用を徹底させた」が15回答、「石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した」が10回答、「大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した」が11回答、「石綿含有物の専用の置き場を確保し、区分して適切に保管した」が16回答、「石綿含有物の混入は、他の災害廃棄物の処理に支障をきたすことになるため分別を徹底した」が14回答、「コンクリートガラ等の再生利用で、石綿含有物が混在しないことを特に注意して検査した」が3回答、「その他」が6回答、「対策をしなかった（石綿飛散を想定しなかった）」が0回答であった。また、重要と考えられる事項について、一次仮置場（n=19、複数回答可）では「がれきに混在する石綿含有成形板等の優先的な回収・保管」が15回答、「廃石綿等が入ったプラスチック袋が破損した場合は湿潤化し新たに二重の梱包をする」が12回答、「他の廃棄物との接触により廃石綿等の梱包の破損の危険があるため、原則として受入れない」が8回答、「その他」が3回答であった。「その他」には、「石綿含有が疑われる廃棄物は一次仮置場において分別を徹底する」との回答があった。二次仮置場（n=12、複数回答可）では「前処理としてがれきに混在する石綿、特に石綿含有成形板を極力、除去する」が11回答、「他の廃棄物

と混載する場合は、混ざらないように中仕切り等をする」が 6 回答、「大気中の石綿濃度迅速分析方法の確立」が 6 回答、「その他」が 4 回答であった。実施した対策として、作業員の曝露防止のための「注意喚起」や「マスクの使用の徹底」は当然としても、飛散防止対策のために様々な対策を講じていることが確認できた。重要と考えられる事項として、「がれきに混在する石綿含有成形板の回収」や分別等、石綿含有物の災害廃棄物への混入の問題の理解が進んできたことが伺われた。

#### 4) 災害廃棄物の処理に関する指示

災害廃棄物処理を請負った事業者に対し、石綿の飛散防止及びばく露防止対策に関する指示の有無についての設問では、「指示したことがある」との回答が 19、「ない」との回答が 1 であった。

一次仮置場での指示内容に関する設問に対する回答では (n=20、複数回答可)、「石綿含有物を他の災害廃棄物から分別して扱う」が 16 回答、「集積場の災害廃棄物中にスレート波板などの破片が混入しないよう分別を徹底する」が 15 回答、「石綿含有成形板が破断しないよう原形のまま積込み、荷降ろしを行う」が 7 回答、「前処理としてがれきに混在する石綿含有成形板を極力除去する」が 11 回答、「飛散防止だけでなく、集積場の土壌に混入しないようにシートを敷くなどの対応する」が 1 回答、「その他」が 4 回答であった。「その他」の回答として、「一次仮置場での分別徹底を指示」、「現場作業員のマスク着用徹底を指示」があった。

二次仮置場での指示内容に関する設問に対する回答 (n=10、複数回答可) では、「石綿含有廃棄物が破断しないよう原形のまま積込み、荷降ろしを行う」が 5 回答、「前処理としてがれきに混在する石綿含有成形板を極力除去する」が 7 回答、「破碎選別過程での飛散防止対策を指示」が 5 回答、「石綿含有物以外の廃棄物と区分して扱い、廃石綿等を収納した袋は慎重に扱う」が 7 回答、「廃石綿等の搬送車には荷台に覆いを掛ける」が 6 回答、「その他」が 4 回答であった。「その他」の回答として、「二次仮置場には石綿含有が疑われる廃棄物を極力搬入しないよう指示」、「現場作業員のマスク着用徹底を指示」があった。

#### 5) 災害廃棄物処理計画の策定における課題

災害廃棄物処理計画の策定または改訂にあたり、実効性のある石綿対策を盛込むための課題に関する設問に対する回答 (n=22、複数回答可) では、「現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態の把握」が 18 回答、「石綿含有災害廃棄物の発生原単位を把握し発生量を推計する方法の確立」が 5 回答、「仮置場選定の手順、手法を事前に取り決め、具体的な事例を収集する」が 14 回答、「大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握する」が 14 回答、「具体的な石綿飛散防止対策、ばく露対策を把握する」が 12 回答、「その他」が 1 回答であった。

「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」(平成 19 年 8 月)の有用性に関する設問に対する回答 (n=22) では、「平時における準備が重要であることを認識し、震災後にこのマニュアルを活用して準備した」が 6 回答、「災害発生時の応急措置はこのマニュアルを参考に対処した」が 10 回答、「建築物解体における事前調査、作業計画、飛散防止対策に活用した」が 8 回答、「廃石綿等や石綿含有廃棄物の収集・運搬にこのマニュアルを活用した」が 9 回答、「周辺住民への周知についてマニュアルを活用した」と「その他」がそれぞれ 0 回答であった。また「活

用しなかった」が6回答であった。

「災害廃棄物対策指針」（平成26年3月）の有用性に関する設問に対する回答（n=22、複数回答可）では、「災害予防の考えに基づく対策は参考になる」が11回答、「災害応急対応は実際の対策に活用できる」が15回答、「災害復旧・復興期の災害廃棄物処理対策は処理方針として活用できる」が10回答、「技術編の『処理工程毎の技術』には具体的な対策が示されており活用できる」が9回答、「技術編の『廃棄物の種類毎の処理技術』には具体的な対策が示されており活用できる」が9回答、「その他」が0回答、「石綿含有物の処理計画をまだ検討していない」が2回答であった。

また、石綿含有災害廃棄物の飛散対策やばく露対策に関する、望ましい対応策や実施する上での課題について、自由記載形式で回答を募ったが、回答はなかった。

#### (4) おわりに

災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係る自治体アンケートを実施した。廃石綿等及び石綿含有廃棄物の処分量はそれぞれ4～2,372トン、3～23,964トンの範囲であり、災害廃棄物処分量全体に占める廃石綿及び石綿含有廃棄物処分量の割合はそれぞれ0.0014～0.34%、0.0006～3.5%の範囲であった。石綿含有物の確認方法は「目視のみ」が多く、次いで「公定法」が多かった。目視により石綿含有が疑われた建材については「見なし石綿含有」として対応する自治体が多かった。迅速測定法の適用に関しては、重要性の認識はあるものの実施に至っていない傾向が伺われた。

石綿のリスクに関しては、「東日本大震災以前より認識していた」との回答が多く、リスクの認識後に強化した指示内容や強化した対策としては、「解体現場や仮置場でのばく露、飛散防止対策の徹底」や「石綿用マスク使用の徹底」の回答が多かった。

大気中石綿濃度の測定頻度や場所に関しては、「必要に応じて」「必要な箇所」とした回答が多かった。測定方法に関しては公定法による測定が多かったが、仮置場での測定においてはリアルタイムで繊維状粒子の気中濃度を確認できる機器を導入している自治体もあった。

石綿のばく露防止対策、飛散防止対策として、各局面で実施した対策、また重要と考える事項について訊ねた。平時実施した事項や重要な事項として石綿含有建築物リストの作成「石綿情報の共有」との回答が多く、「仮置場用地の確保」、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿の具体的な処理計画を盛り込む」と続いている。発生現場で実施した対策として「飛散防止及びばく露防止の注意喚起」や「石綿用マスクの使用の徹底」、また重要と考える事項として「解体作業などで防塵マスクや保護衣の使用の周知」が挙げられた。仮置場で実施した対策として「専用置き場を確保し、区分して保管」や「石綿用マスクの使用の徹底」、また重要と考える事項として「がれきに混在する石綿含有成形板等の回収」が挙げられた。

災害廃棄物処理を請け負った業者に対してほぼ全ての自治体で何らかの指示をしており、主な指示内容として、一次仮置場では石綿含有物の分別徹底や混入防止、二次仮置場ではがれき中の石綿含有建材の除去、石綿含有廃棄物の分別等が挙げられた。

災害廃棄物処理計画の策定における課題として挙げられた項目は、「現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態把握」、「仮置場選定の手順を取り決めておき、具体的な事例も収集」、「大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握」等であった。「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」や「災害廃棄物対策指針」については有用である

との回答が多かった

### 参考文献

- 1) 環境省：災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル、平成 19 年 8 月
- 2) 例えば、環境省事務連絡：廃石綿や PCB 廃棄物が混入した災害廃棄物について、平成 23 年 3 月 19 日、環境省通知：石綿等が吹き付けられた建築物等からの石綿等の飛散及びばく露防止対策の徹底について、平成 23 年 6 月 30 日、環境省通知：建築物等の解体工事に係る発注時における石綿飛散防止対策の徹底について、平成 23 年 11 月 28 日
- 3) 環境省：第 5 回東日本大震災アスベスト対策合同会議議事資料、平成 23 年 12 月 22 日  
(2015 年 3 月 25 日閲覧)
- 4) 環境省廃棄物・リサイクル対策部：「災害廃棄物等処理の進捗状況（3 県沿岸市町村（避難区域を除く））」、平成 26 年 3 月 26 日
- 5) 国土交通省、東日本大震災における被災建築物応急危険度判定結果（速報）、平成 23 年 8 月 1 日
- 6) つくば市、竜巻災害廃棄物処理事業の概要（第 2 版）（平成 24 年度事業分）、平成 25 年 6 月 1 日
- 7) 川端信裕，平井康宏，酒井伸一，浅利美鈴，仙台市をモデルケースとした石綿含有建材ストック量の推計、第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会発表論文集（2013）

## (参考)アンケート調査票

災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係るアンケート調査票		
本アンケートにご回答いただく方について記載して下さい。		
自治体名／(処理区名)		
部署名		
ご記入者氏名(連絡者)		
電話		
E-mail		
* 灰色(電子データの場合は水色)のセルにご回答ください。		
NO.	アンケート内容	
1	<b>災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法</b> 災害廃棄物について、発生量、処分量、処分方法を記載ください。津波堆積物は除きます。 処分方法は下記の注2)を参照の上、記載ください。(複数回答可)	
	災害廃棄物	項目 回答
	災害廃棄物全量	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	廃石綿等	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	石綿含有廃棄物	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
災害廃棄物の種類ごとに把握されている場合は下記に記載ください。分類が異なる場合は下記の種類の項目を修正して記載してください。		
	可燃物 (木くず以外)	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	木くず*	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	不燃混合物	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	コンクリートくず*	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
	金属くず*	発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
		発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
		発生量:推定値(t) <sup>1)</sup> 処分量(t) <sup>1)</sup> 処分方法 <sup>2)</sup>
注 1) 別途作成された資料がある場合は資料の同封(PDFの添付)またはURLのご教示をお願いします 2) 処分方法の欄には再生利用、焼却+発電・熱利用、単純焼却、埋立処分などを記載してください。		

以降の設問では、実際に実施された具体的な内容を記載していただきたく、設問中の選択肢にはあくまでも考えられる事例を列挙したものです。多くの事例を「その他」の欄に記載していただきますようお願いいたします。

2	<b>廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法</b>	
2.1	下記の各現場で、廃棄物中の石綿含有の有無をどのような方法で確認しましたか。該当する方法に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	(1) 災害廃棄物の発生現場における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法 <sup>3)</sup>	
	③ 公定法(IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由 <sup>4)</sup> がある場合はその方法と共に記載してください。	
注 3) ここでの廃棄物中の迅速測定法とはルーベによる観察や近赤外線反射分光法(ハンディ型)を想定していますが、その他の測定法の場合は④のその他に記載してください。また、大気中の迅速測定法とは粉じん計(パーティクルカウンター)、粉じん相対濃度計(デジタル粉じん計)、繊維状粒子自動測定機(リアルタイムモニター)を想定しています。以下同じです。 4) 特別な理由とは費用面、人材面、機材面以外の理由がある場合との意味です。以下同じ。		
	(2) 一次仮置場における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法	
	③ 公定法(IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
	(3) 二次仮置場 <sup>5)</sup> 及び搬出時における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法	
	③ 公定法(IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
注 5) 二次仮置場とは破砕選別や仮設の焼却施設を有し、二次処理を行う施設です。		

2.2	目視により石綿含有が疑われる建材があった場合、その廃棄物についてどのように扱われましたか該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 疑わしい場合は、そのまま廃石綿等または石綿含有廃棄物とみなして対応した。	
	② 簡易測定法により石綿含有を確認し、他の災害廃棄物と区分した。	
	③ 簡易測定法で石綿含有が確認できなかった場合は、公定法などで追加分析を確認した。	
	④ 一次仮置場において区分しておき、公定法による分析結果を待って処理方法を判断した。	
	⑤ 二次仮置場において個別に公定法などで分析し、その結果を待って処理方法を判断した。	
	⑥ その他(具体的な内容を記載してください)	
	* 必要と考える対応方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
2.3	災害廃棄物の処理にあたり、どのような場面で迅速測定法を実施しましたか。実際に実施した該当する場面、現場に「1」を、また重要と考えられるが実施できなかった場面に「2」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	廃棄物中の石綿含有量測定	
	① 建築物の解体前の事前調査において	
	② 建築物の解体現場において	
	③ 一次仮置場に搬入される災害廃棄物に石綿含有物が混入しているかの判別において	
	④ 二次仮置場に搬入される災害廃棄物に石綿含有物が混入しているかの判別において	
	⑤ 二次処理後の処理物や再生資材石綿含有測定において	
	⑥ 実施したその他の現場(具体的な場面、現場を記載してください)	
	⑦ 未実施	
	* 実施できなかった重要なその他の現場を具体的に記載してください	
	* 全く実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください	
(2)	大気中の石綿濃度測定(一般環境と作業環境を含む)	
	① 倒壊した建築物や船舶の周辺環境の安全確認において	
	② 建築物の解体工事における飛散防止の安全確認において(公定法の他に測定した場合)	
	③ 建築物の解体工事における作業員のばく露防止の確認において(公定法の他に測定した場合)	
	④ 一次仮置場の周辺環境の安全確認において	
	⑤ 二次処理場の周辺環境の安全確認において	
	⑥ 搬出時や運搬中の周辺環境の安全確認において	
	⑦ 実施したその他の現場(具体的な場面、現場を記載してください)	
	⑧ 未実施	
	* 実施できなかった重要なその他の現場を具体的に記載してください	
	* 全く実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください	

3	石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理	
3.1	災害時に石綿が露出し、飛散が懸念される状態であった場合、健康障害を引起す可能性があることをどの時点から認識されましたか。該当する項目に「1」を記入してください。(複数回答可)	
(1)	石綿のリスクを認識した時期について	
	① 東日本大震災以前からよく認識していた。(この項目を選択の場合、3.2に進んでください)	
	② 東日本大震災以前から概略は認識していたが、飛散対策の必要性までは認識していなかった	
	③ 東日本大震災後の国や関係機関からの通達により認識した。	
	④ その他(具体的な内容を記載してください)	
(2)	石綿のリスクを確認後、強化させた事業者への指示内容や対策について	
	① 大気中の石綿濃度または総繊維数を測定する頻度、地点を増加させた。	
	② 建築物の解体にあたり事前調査を徹底させた。	
	③ 解体現場や仮置場等においてばく露、飛散防止対策を徹底させた。	
	④ 石綿用マスクの使用を徹底させた。	
	⑤ その他(具体的な内容を記載してください)	
	⑥ 未実施	
3.2	災害廃棄物の発生現場において大気中の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方法について、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。	
(1)	測定回数について	
	① 必要に応じて	
	② 週に一度	
	③ 毎日	
	④ その他(具体的な回数を記載してください)	
	⑤ 未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.3に進んでください)	
	* 実施しなかった特別な理由がある場合は、その理由を記載してください。(3.3に進んでください)	
(2)	測定地点について	
	① 風下のみ(この項目を選択の場合、*に回答してください)	
	② 必要に応じた箇所(この項目を選択の場合、*に回答してください)	
	③ 周囲4点以上	
	* 周囲4点以上の測定を実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください。	
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)	
	① 迅速測定法	
	② 公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)	
	③ その他(具体的な方法を記載してください)	

3.3	一次仮置場や二次仮置場において <b>一般環境</b> の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方 ついて、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。
(1)	測定回数について
	① 必要に応じて
	② 週に一度
	③ 毎日
	④ その他(具体的な回数を記載してくだ さい)
	⑤ 未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.4に進んでください)
	* 実施しなかった特別な理由がある場 合は、その理由を記載してください。 (3.4に進んでください)
(2)	測定地点について
	① 風下のみ
	② 必要に応じた箇所
	③ 周囲4点以上
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)
	① 迅速測定法
	② 公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)
	③ その他(具体的な方法を記載してくだ さい)
3.4	一次仮置場や二次仮置場において <b>作業環境</b> の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方 ついて、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。
(1)	測定回数について
	① 必要に応じて
	② 週に一度
	③ 毎日
	④ その他(具体的な回数を記載してくだ さい)
	⑤ 未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.5に進んでください)
	* 実施しなかった特別な理由がある場 合は、その理由を記載してください。 (3.5に進んでください)
(2)	測定地点について
	① 風下のみ
	② 必要に応じた箇所
	③ 周囲4点以上
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)
	① 迅速測定法
	② 公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)
	③ その他(具体的な方法を記載してくだ さい)

3.5	石綿の飛散防止、ばく露防止対策で、各処理段階でどのような対策を <b>実施</b> しましたか。該当項目に 「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)
(1)	平時(震災前または震災後)
	① 平時より、石綿含有建築物のリストを作成した。
	② 災害時は自治体内で、石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整した。
	③ 耐震補強を推進し、石綿含有建築物の被災を最小限とするようにした。
	④ 被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立した。 <b>石綿含有廃棄物の発生原単位を算定されている場合は、資料をご提供ください。</b>
	⑤ 地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込んだ。
	⑥ 被災時には集積場(仮置場)の場所と面積を確保できるようにしている。
	⑦ その他に実施した項目(具体的な事 項を記載してください)
	* 上記の中で、実施できなかった特別 な理由がある場合は、その該当する 番号と理由を記載してください。
(2)	発現場
	① 石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った。
	② 罹災証明時に石綿含有建材の調査を行った。
	③ 吹付け材をビニールシートで覆い応急措置をした。
	④ 石綿用マスクの使用を徹底させた。
	⑤ 石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した。
	⑥ 大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した。
	⑦ 石綿含有物が存在する箇所をロープ等により立入禁止とし、石綿ばく露を防止した。
	⑧ その他(具体的な方法を記載してくだ さい)
	⑨ 対策をしていない。(石綿の飛散を想定していなかった)
	* 上記の中で、実施できなかった特別 な理由がある場合は、その該当する 番号と理由を記載してください。
(3)	一次仮置場及び二次仮置場
	① 石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った。
	② 石綿用マスクの使用を徹底させた。
	③ 石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した。
	④ 大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した。
	⑤ 石綿含有物の専用の置き場を確保し、区分して適切に保管した。
	⑥ 石綿含有物の混入は、他の災害廃棄物の処理に支障をきたすことになるため分別を徹底した
	⑦ コンクリートガラ等の再生利用で、石綿含有物が混在しないことを特に注意して検査した。
	⑧ その他(具体的な方法を記載してくだ さい)
	⑨ 対策をしていない。(石綿の飛散を想定していなかった)
	* 上記の中で、実施できなかった特別 な理由がある場合は、その該当する 番号と理由を記載してください。



3.6	石綿の飛散及びばく露に関するリスク管理上の留意事項として、 <b>重要と考えられること</b> はどのようなことですか。平時、災害時の各現場において重要と考えられる項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	平時	
	① 平時より、石綿含有建築物のリストを作成する。	
	② 災害時は自治体内で、石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整しておく。	
	③ 耐震補強を推進し、石綿含有建築物の被災を最小限とし、災害廃棄物の発生量を削減する。	
	④ 被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立する。	
	⑤ 地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込む。	
	⑥ 集積場(仮置き場)の場所と面積の確保を検討する。	
	⑦ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(2)	災害廃棄物の発生現場	
	① 倒壊、破損した建築物の事前調査を徹底する。	
	② 現地での廃棄物中の石綿含有量の迅速測定法を確立する。	
	③ 解体作業などで防塵マスクや保護衣の使用を周知する。	
	④ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(3)	一次仮置場	
	① ガレキに混在する石綿含有成形板等は優先的に回収し、保管する。	
	② 廃石綿等が入ったプラスチック袋が破損した場合は、湿潤化し新たに二重の梱包をする。	
	③ 他の廃棄物との接触により廃石綿等の梱包の破損の危険があるため、原則として受入れない。	
	④ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(4)	二次仮置場	
	① 前処理としてガレキに混在する石綿、特に石綿含有成形板を極力、除去する。	
	② 他の廃棄物と混載する場合は、混ざらないように中仕切り等をする。	
	③ 大気中の石綿濃度迅速分析方法を確立する。	
	④ その他に実施した項目(具体的な事項を記載してください)	

4	災害廃棄物の処理に関する指示	
4.1	石綿の飛散防止及びばく露防止対策として、事業者に指示したことがありますか。該当項目に「1」を記入してください。	
	① 事業者に指示したことがある。(この項目を選択の場合、4.2に進んでください)	
	② 事業者に指示したことがない。(この項目を選択の場合、*に回答の上、5に進んでください)	
	事業者に指示しなかった理由を記載してください。(5に進んでください)	
4.2	石綿の飛散防止及びばく露防止対策として、各処理段階で実施責任者にどのような指示をしましたか。該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	一次仮置き場	
	① 石綿含有物を他の災害廃棄物と分別して扱うよう指示をした。(石綿含有物の識別方法も含む)	
	② 集積場の災害廃棄物中にスレート波板などの破片が混入しないよう、分別の徹底を指示した。	
	③ 石綿含有成形板が破断しないよう、原形のまま積み込み、荷降ろしを行うよう指示した。	
	④ 前処理としてガレキに混在する石綿含有成形板を極力、除去するよう指示した。	
	⑤ 飛散防止だけでなく、集積場の土壌に混入しないようにシートを敷くなどの対応を指示した。	
	⑥ その他(具体的な方法を記載してください)	
	* 上記の中で、実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。	
(4)	二次仮置場	
	① 石綿含有廃棄物が破断しないよう、原形のまま積み込み、荷降ろしを行うよう指示した。	
	② 前処理としてガレキに混在する石綿含有成形板を極力、除去するよう指示した。	
	③ 破砕選別過程での飛散防止対策を指示した。	
	④ 石綿含有物以外の廃棄物と区分して扱い、廃石綿等を収納した袋は慎重に扱うよう指示した。	
	⑤ 廃石綿等の搬送車には荷台に覆いを掛けるよう指示した。	
	⑥ その他(具体的な内容を記載してください)	
	* 実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。	
5	災害廃棄物処理計画の策定における課題	
	災害廃棄物処理計画の策定または改訂にあたり、実効性のある石綿対策を盛り込むためにはどのような課題があるとお考えでしょうか。該当する項目に「1」を記入して下さい。(複数回答可)	
	① 現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態を把握する。	
	② 石綿含有災害廃棄物の発生原単位を把握し、発生量を推計する方法を確立する。	
	③ 仮置場選定の手順、手法を事前に取り決めておき、具体的な事例を収集しておく。	
	④ 大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握する。	
	⑤ 具体的な石綿飛散防止対策、ばく露対策を把握する。	
	⑥ 上記以外に、必要と考える項目がありましたら具体的に記載してください。	

6	その他のご意見	
	(1) 東日本大震災の前に発行された「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」(H19.8)は有用でしたか。特に有用だった内容について該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 平時における準備が重要であることを認識し、震災後にこのマニュアルを活用して準備をした。	
	② 災害発生時の応急措置はこのマニュアルを参考に対処した。	
	③ 建築物解体における事前調査、作業計画、飛散防止対策に活用した。	
	④ 廃石綿等や石綿含有廃棄物の収集・運搬にこのマニュアルを活用した。	
	⑤ 周辺住民への周知について、マニュアルを活用した。	
	⑥ その他(有用な具体的な内容を記載してください)	
	⑦ 活用しなかった。	
	* その他、追加した方がよい項目やさらに充実させるべき項目がありましたら具体的に記載してください。	
	(2) 「災害廃棄物対策指針」(H26.3)は石綿含有物の処理に有用でしょうか。特に有用であると考えられる内容について該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 災害予防の考えに基づく対策は参考になる。	
	② 災害応急対応は実際の対策に活用できる。	
	③ 災害復旧・復興期の災害廃棄物処理対策は処理方針として活用できる。	
	④ 技術編の「処理工程毎の技術」には具体的な対策が示されており活用できる。	
	⑤ 技術編の「廃棄物の種類毎の処理技術」には具体的な対策が示されており活用できる。	
	⑥ その他(有用な具体的な内容を記載してください)	
	⑦ 石綿含有物の処理計画をまだ検討していない。	
	* その他、追加した方がよい項目やさらに充実させるべき項目がありましたら具体的に記載してください。	
	(3) 石綿含有災害廃棄物の飛散対策やばく露対策に関しまして、望ましい対応策や実施する上での課題などご意見、要望がありましたら自由に記載してください。	
	① ご意見を具体的に記載してください	

## 1.2.4 災害廃棄物・建設産業副産物の利活用技術の開発

### (1) 津波堆積物有効利用促進に向けた地盤定数と環境安全性の把握

#### 1) はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う大津波によって発生した災害廃棄物は、破碎選別等の処理が行われた。岩手県では処理後に20mmふるいを通じた不燃系の処理物は分別土として扱われ、復興資材としての利用が進められた。この分別土は、夾雑物混じりの津波堆積物由来のものを分別土A種、混合廃棄物由来のものを分別土B種として区別している<sup>1)</sup>。分別土の一部には木くず等の有機物が混入しており、将来的な沈下や腐敗性のガス発生等が懸念され、当初は利用が思うように進まなかった。そこで、分別土A種ならびにB種のそれぞれを単体で利用した場合の長期的な変形挙動、発熱、ガス発生、汚濁成分の溶出等を評価するために試験盛土を構築して長期的なモニタリングを行った。本論では、初年度のモニタリングによって得られた結果を記し、分別土の挙動について考察する。

表 1.2-11 盛土試験用いた分別土の材料特性一覧

#### 2) 試験盛土の概要

##### (a) 分別土の材料特性

分別土A種ならびにB種の材料特性について表1.2-11に示す。組成分析の結果をみると、木・竹・わら類といった木くずに相当する組成が分別土A種よりもB種の方が多いことが確認される。木くず等の混入による汚濁成分の溶出特性については、分別土B種の全窒素(T-N)と全有機炭素量(TOC)、化学的酸素消費量(COD)が、A種の約2倍となっており、木くず等含有量が多いため水への汚濁成分の溶出も多くなっていることがわかる。溶出量試験結果の重金属類は砒素、フッ素、ホウ素以外の全ての項目はN.D.(検出下限値未満)となっており、含有量についても鉛、フッ素、ホウ素以外はN.D.という結果であった。検出された項目についても土壤汚染対策法第6条の基準を下回る結果となった。JIS A1204にしたがった粒度分布を図1.2-2に、JIS A1210のA-a法で求めた締固め曲線を図1.2-3に示す。分別土B種の方がA種よりも細粒分がやや多い結果となっているが、これは、破碎等の処理工程に起因すると考えられる。最大乾燥密度 $d_{max}$ は $1.772\text{g/cm}^3$ 、

区分	項目	単位	分別土A種	分別土B種	定量下限値	
	含水比	%	13.4	20.2	0.1	
	土粒子密度	$\text{g/cm}^3$	2.703	2.668	小数3桁	
	強熱減量: 250 °C	%	1.1	2.6	0.1	
	強熱減量: 350 °C	%	2.3	6.0	0.1	
	強熱減量: 650 °C	%	4.6	9.2	0.1	
	強熱減量: 800 °C	%	4.9	9.7	0.1	
組成分析	紙・布類	%	0.01	0.05	小数2桁	
	合成樹脂・ゴム・皮革類	%	0.06	0.21	小数2桁	
	木・竹・わら類	%	0.13	0.93	小数2桁	
	厨芥類	%	0.21	0.13	小数2桁	
	金属類	%	0.08	0.08	小数2桁	
	ガラス類	%	0.27	0.83	小数2桁	
	コンクリート・玉石・アスファルト類	%	14.94	14.64	小数2桁	
	シルト・粘土分(0.425mm未満)	%	37.12	32.24	小数2桁	
	その他(0.425~5mm)	%	47.18	50.89	小数2桁	
	溶出	水素イオン濃度指数 pH	-	7.3	7.4	-
電気伝導率 EC		mS/m	97	150	0.001	
生物学的酸素消費量 BOD		mg/L	3.4	3.9	0.5	
化学的酸素消費量 COD		mg/L	6.6	14	0.5	
全窒素 T-N		mg/L	0.87	1.5	0.02	
全リン T-P		mg/L	0.063	0.031	0.002	
全有機炭素量 TOC		mg/L	4.1	8.7	0.3	
無機炭素量 IC		mg/L	4.2	5.4	0.3	
試験		カドミウム及びその化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.0003
		六価クロム化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.005
	シアン化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.1	
	水銀及びその化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.0005	
	アルキル水銀	mg/L	N.D.	N.D.	0.0005	
	セレン及びその化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.001	
	鉛及びその化合物	mg/L	N.D.	N.D.	0.001	
	砒素及びその化合物	mg/L	0.001	N.D.	0.001	
	フッ素及びその化合物	mg/L	0.70	0.80	0.08	
	ホウ素及びその化合物	mg/L	N.D.	0.2	0.1	
含有量試験	カドミウム及びその化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	5	
	六価クロム化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	5	
	シアン化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	1	
	水銀及びその化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	0.05	
	セレン及びその化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	5	
	鉛及びその化合物	mg/kg	74	130	5	
	砒素及びその化合物	mg/kg	N.D.	N.D.	5	
	フッ素及びその化合物	mg/kg	69	77	50	
	ホウ素及びその化合物	mg/kg	7	13	5	

含水比: JIS A 1203, 土粒子密度: JIS A 1202, 組成分析: 環整95号(昭和52年11月), 強熱減量試験: 燃焼時間を2時間, 各温度の試料量を10gとしてそれぞれ3検体の平均値, 土壤溶出量基準項目: 環境省告示第18号(平成15年3月), 土壌含有量項目: 環境省告示第19号(平成15年3月), 溶出量試験の内, 生活環境項目については環境省告示第46号(平成3年8月)にて検液を作成し, JIS K 0102にしたがって分析を行った。

1.445g/cm<sup>3</sup>、最適含水比 $w_{opt}$ は15.3%、22.6%であった。最大乾燥密度における透水係数（変水位法）は極めて小さく、それぞれ $2.49 \times 10^{-9}$ m/s、 $4.52 \times 10^{-9}$ m/sであった。このような低透水性を示したのは、最適含水比が自然含水比よりも大きく、動的な締固め過程で供試体の一部が泥濘化したことが要因と考えられる。

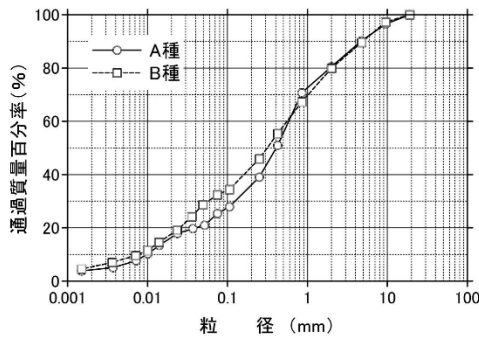


図 1.2-2 粒径加積曲線

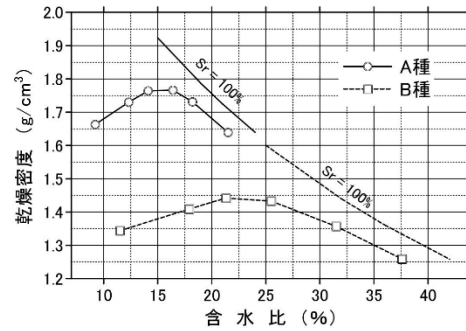


図 1.2-3 締固め曲線

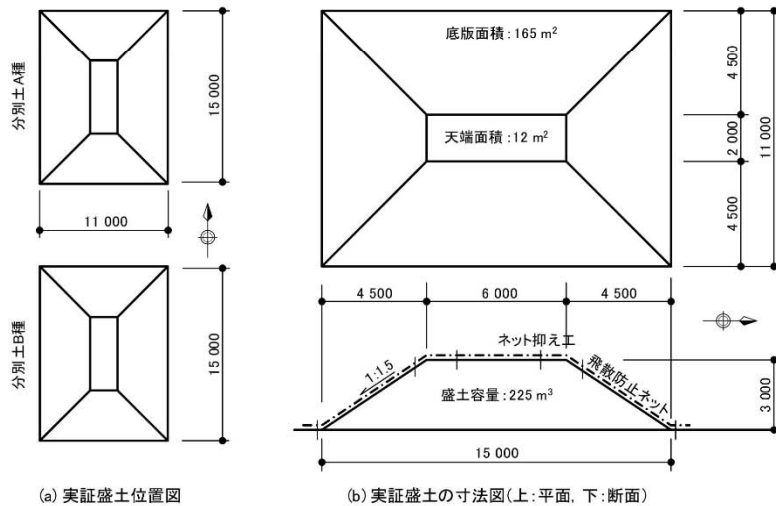


図 1.2-4 試験盛土の概要



(a) 施工中の締固め状況



(b) 設置完成後の試験盛土(分別土A種)

写真 1.2-1 施工中と完成後の状況

## b) 試験盛土の構築

### ① 試験盛土の概要

構築した試験盛土の平面図と断面図を図1.2-4に示す。また、施工中と完成後の状況を写真1.2-1に示す。試験盛土の構築にあたっては、転圧後の厚さが1層当たり25cmになるように調整して撒き出し、層厚管理によって施工した。試験盛土でのモニタリングは、センサーや器具類を設置することにより行った。

### ② 設置したセンサー類と測定方法

設置したセンサーや装置類の位置図を図1.2-5に示し、それぞれの規格や測定方法等について以下に詳述する。

①沈下板層別の沈下量を把握するため、沈下板を深さ2mに2カ所、深さ1mに2カ所の計4カ所設置し、試験盛土天端に測量杭を5本打ち込んだ。位置図と番号を図1.2-6に示す。分別土A種の場合は記号BがAとなる。

②温度計温度計には延長0.5mと1.0mのK型熱電対（岡崎製作所製）を用い、試験盛土天端から深さ0.5mと1.0mの位置に測点がくるように設置した。分別土A種の北側の測点をA1-0.5m、A1-1.0m、南側をA2-0.5m、A2-1.0mとし、分別土B種ではそれぞれB1、B2とした。

③浸透水集水桝不飽和領域の浸透水をサンプリングするための集水桝を図1.2-7 (a) (b) に示す。この集水桝の設置深さは基盤面（天端からの深さ3m）とした。図中 (c) は設置した集水桝の測点番号である。これまでと同様に分別土A種の場合は記号BがAとなる。採取した浸透水は、表1.2-11と同様の方法によって分析を行った。

④ガス採取管試験盛土内のガスをサンプリングするため、天端から深さ1m（温度計と同じ深度）に内径6mmのSUS管を挿入した。設置位置は温度計と同じ位置と天端中心部の3カ所ずつ設置した。サンプリングはアルミニウム製テドラバックにポンプを用いて採取し、即日分析を行った。採取した土壌ガスの内、酸素、二酸化炭素、メタン、窒素、水素についてはGC-TCDを、一酸化炭素についてはGC-FIDを、硫化水素についてはGC-FPDを用いて分析した。

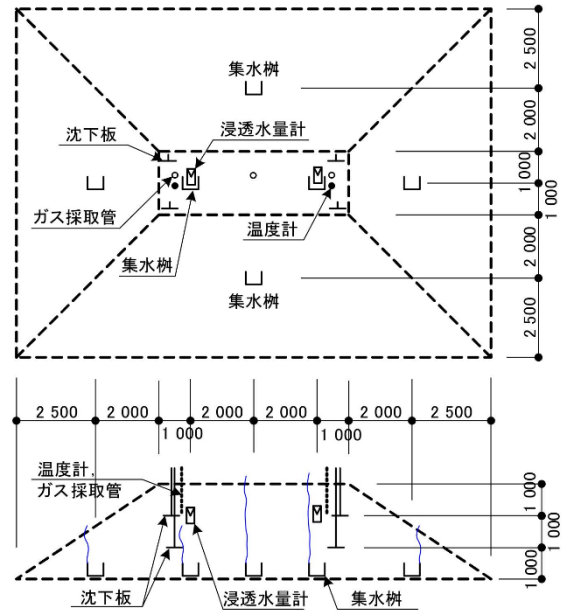


図 1.2-5 センサーや装置類の設置位置

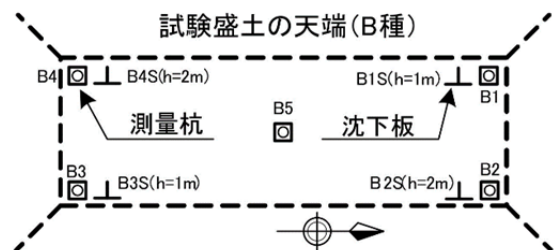


図 1.2-6 沈下板と測量杭の位置と番号

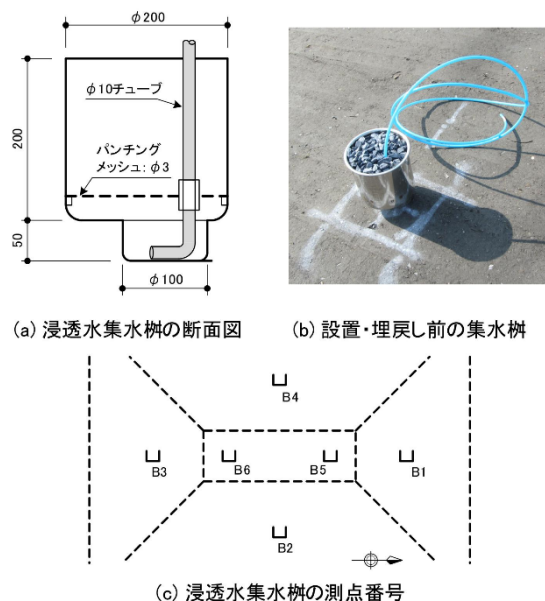


図 1.2-7 浸透水集水桝図



### 3) 試験盛土のモニタリング結果

#### (a) 現場密度試験

試験盛土の築造が終了した後、天端で2カ所、法面部で2カ所ずつ現場密度試験を実施した。現場密度は「砂置換法による土の密度試験方法

(JIS A1214)」と「RI計器による土の密度試験方法 (JGS 1614-2003)」の両方を実施した。測定結果を表1.2-12に示す。砂置換法とRI法の差は小さく、分別土に対しては、どちらの方法で現場密度を測定しても問題ないと考えられる。分別土A種の乾燥密度の方がB種よりも大きい、A種の締固め度 (Dc) が81.6%以上であるのに対し、B種は90.8%以上であり、締固め度としてはB種の方が大きな値となった。

表 1.2-12 現場密度試験結果と締固め度

ヤード	位置	砂置換法				RI法			
		$\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	w %	D <sub>c</sub> %	$\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	w %	D <sub>c</sub> %
A種	天端	1.815	1.548	17.2	87.4	1.802	1.547	16.5	87.3
		1.733	1.483	16.9	83.7	1.706	1.455	17.2	82.1
	法面	1.921	1.655	16.1	93.4	1.959	1.674	17.0	94.5
		1.701	1.445	17.7	81.6	1.716	1.450	18.3	81.8
B種	天端	1.691	1.350	25.3	93.4	1.683	1.312	28.3	90.8
		1.768	1.421	24.4	98.3	1.767	1.396	26.6	96.6
	法面	1.799	1.411	27.6	97.7	1.817	1.419	28.1	98.2
		1.801	1.403	28.4	97.1	1.786	1.347	32.7	93.2

#### (b) 試験盛土の変位

天端に設置した測量杭、ならびに試験盛土内に設置した沈下板を用いた変位の測量結果を図1.2-8に示す。水平変位 (XY変位) については測量杭を用いた結果を、沈下量 (Z変位) については測量杭と沈下板を用いた結果を示している。なお、水平変位については設置から約1年後 (358日後) の値のみを示している。水平変位の図中 (a) と (b) を見ると、天端法肩の水平方向への移動は1年間で数mm～十数mm程度に収まっており、実用上、問題の無い範囲であると想定される。図中 (c) と (d) の沈下量をみると、分別土B種の場合、1年間で40mm程度、A種では50mm程度の沈下量となっていることが確認できる。層別の沈下が分かるように設置した沈下板では、基盤面から高さ2 m (天端から深さ1 m) の位置での沈下量は天端のそれよりもやや小さい程度であり、高さ1m (天端から深さ2m) の沈下量はB種で20mm程度、A種では10mm以下となっていた。天端での最大ひずみ ( $\epsilon_{max}$ ) はA種で1.6%、B種で1.3%程度であった。また、経過日数に対する沈下量の挙動をみると、A種の沈下は直線的であり、今後も沈下が継続していく可能性が伺えた。

#### (c) 温度変化

気温と試験盛土内の温度変化について図1.2-9に示す。気温ならびに層内温度は1時間毎に記録したが、図中では日平均値で表している。北側と南側の測点1と2では概ね同じ値となっており、深さ0.5 mよりも深さ1.0 mの温度変化がやや遅れているが、これは分別土の熱伝導率によって時間遅れが生じていることが原因である。分別土A種とB種での違いもほとんどなく、同様の変化となっていることも確認される。

分別土には有機物が多く含まれると言われているが、気温を追従する形で温度が変化していることをみる限り、分別土A種、B種共に発熱を伴うような易分解性の有機物を多く含んでいるとは言えない結果となった。

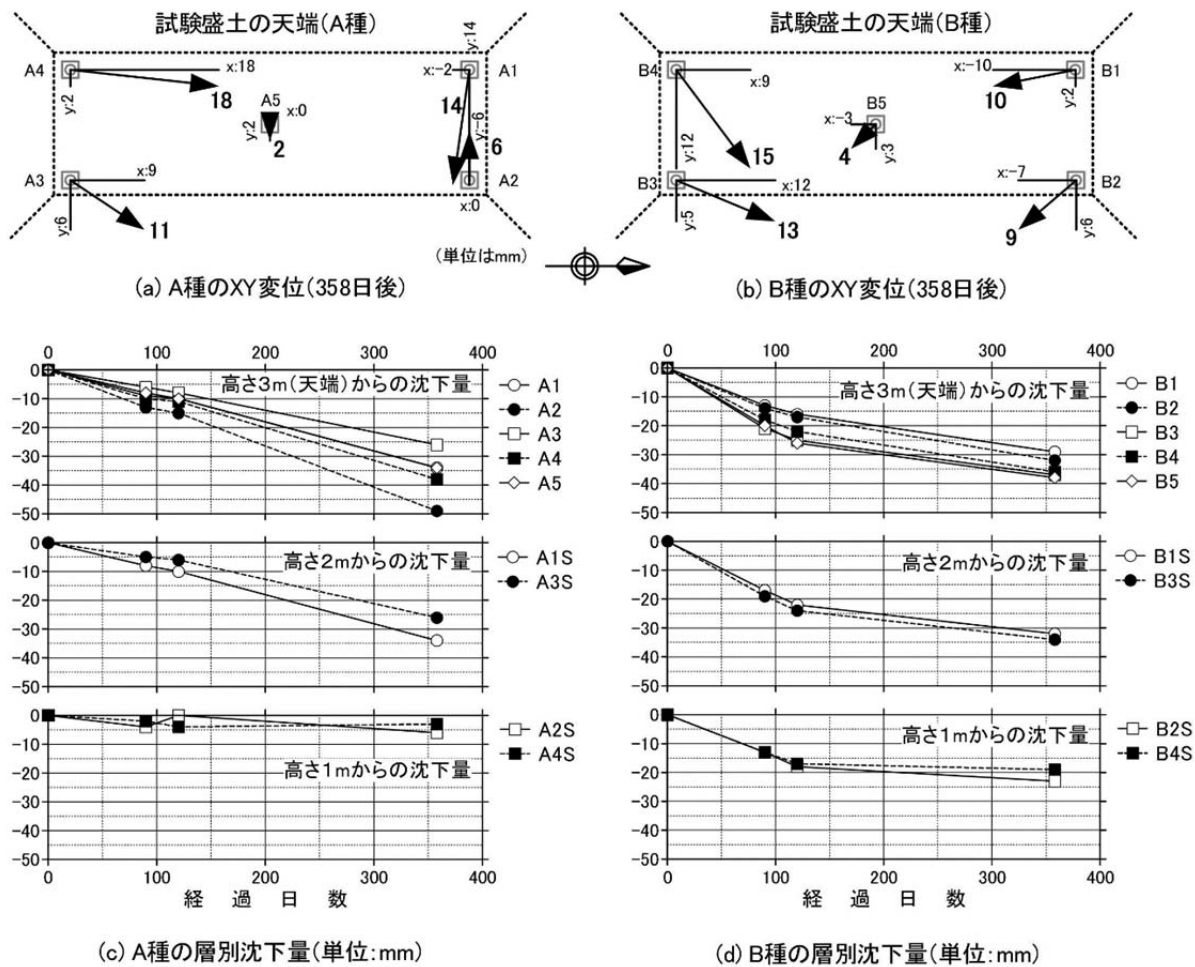


図 1.2-8 XY 変位と沈下量(Z 変位)の測定結果

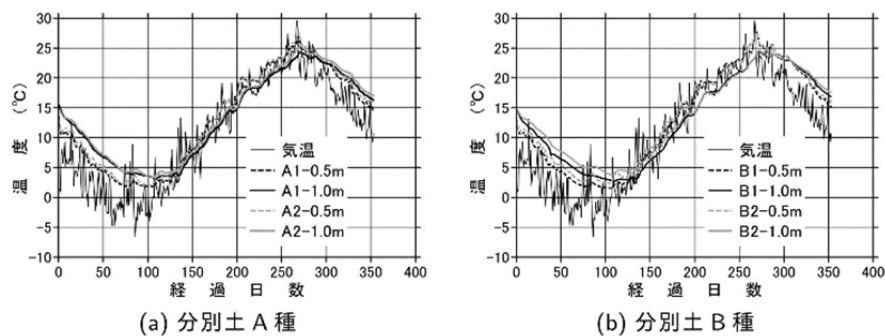


図 1.2-9 分別土内の温度変化と気温

(d) 浸透水の水質

試験盛土に設置した浸透水集水樹で集められた浸透水はサンプリングし、水質の分析を行った。水質の内、生活環境項目について得られた結果を表1.2-13に示す。水温とORPは浸透水を採取後、現地で測定した値であり、それ以外は持ち帰り後に分析を行った結果である。また、342日後の試

料に対しては、水道水検査等において難分解性溶存有機物（腐植質等）の指標として用いられる紫外部（260nm）の吸光度（E260）についても追加分析した。土壌由来の腐食物質が増加するとE260とTOCの比も増加する傾向が報告されており<sup>2)</sup>、分別土における溶存有機物の指標として適している可能性があったため採用した。

分別土A種のORPはプラス側であるが、B種については初期からマイナス側であり、やや嫌気的な状況となっていることが確認できる。A種、B種共に、時間が経過するにしたがってORPは減少しており、A種の約半分は1年経過後にマイナスとなっている。ただし、ORPについては採水頻度等も影響することから、盛土内の全てが嫌気的に変化したとは断言しにくい状況である。

pHは初期に中性から弱アルカリ性であったものが、時間とともに弱酸性側に移行しており、A種よりもB種の方がやや小さいpHとなる傾向が観察される。電気伝導率（EC）には大きな違いは無く、概ね800～1000mS/mの範囲で変動しており、時間と共に減少傾向にあることが確認できるが、その変化は緩慢であるといえる。

表 1.2-13 浸透水の水質分析結果

項 目	日数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
水温 (°C)	82	5.0	5.5	6.2	5.0	8.1	6.0	5.0	5.5	8.0	6.0	-	9.7
	124	-	7.0	7.5	7.0	7.8	7.6	-	6.6	7.5	6.8	-	7.8
	342	19.1	19.5	20.2	19.4	19.9	20.2	19.8	20.7	20.8	20.0	-	20.5
ORP (mV)	82	133	157	147	150	123	120	-100	-100	-82	-82	-	-91
	124	-	146	157	149	110	109	-	-116	-117	-124	-	-118
	342	-35	5	154	5	-133	-94	-130	-158	-148	-137	-	-103
pH (-)	82	7.2	7.2	7.3	7.3	7.9	7.8	7.0	7.1	7.1	6.9	-	7.0
	124	-	7.1	7.1	7.1	6.9	6.6	-	7.2	6.8	7.0	-	7.0
	342	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.7	6.8	6.7	6.7	6.9	-	7.2
EC (mS/m)	82	880	860	890	880	840	790	930	990	1000	980	-	930
	124	-	760	940	890	980	1000	-	1000	1000	980	-	1000
	342	660	780	740	670	830	790	780	690	760	750	-	750
BOD (mg/L)	82	2.8	-	-	0.9	2.2	2.1	4.9	4.8	7.0	5.3	-	7.4
	124	-	-	-	-	0.6	1.2	-	-	1.8	7.6	-	13
	342	6.0	2.1	1.9	3.1	2.9	2.5	3.4	4.0	2.6	5.4	-	-
COD (mg/L)	82	33	31	33	32	54	54	150	160	170	150	-	170
	124	-	23	28	26	29	30	-	140	100	240	-	490
	342	71	46	33	36	74	49	130	130	100	210	-	120
T-N (mg/L)	82	95	93	91	100	36	18	14	13	13	13	-	15
	124	-	51	66	70	52	54	-	15	9	17	-	30
	342	3	6	2	7	7	14	17	18	17	17	-	15
TOC (mg/L)	82	39	38	36	45	54	55	110	130	140	120	-	100
	124	-	19	24	21	24	23	-	85	62	110	-	180
	342	40	44	33	36	50	39	68	55	60	60	-	71
E260 (mAbs)	342	502	648	551	574	1273	1085	2709	2045	2039	2027	-	1284

生物化学的酸素要求量（BOD）については、総じて低く、易分解性の有機物の溶出は、A種、B種共に少ないと思われるが、A種ではBODが微増している傾向も確認されている。化学的酸素要求量（COD）については、A種とB種で明確な差があり、B種の方がA種に比較して数倍大きな値となっている。ORPが低いのも、このCOD成分が影響していると考えられる。全有機炭素（TOC）も同様の傾向となっており、A種に比較するとB種が数倍大きな値となっている。TOC成分の具体までは特定できていないが、BODが低く、COD、TOCが高いことから、難分解性の有機物が多い



と推測される。次いで、有機汚濁成分の指標として、BOD/COD、E260/TOCについて評価した。図1.2-10 (a) と (b) に各測点における計算値を示す。また、BOD/COD とE260/TOCの関係を図中 (c) に示す。なお、本来であればTOCではなくてろ過後のDOCを用いるべきであるが、本分析ではろ過を実施していないのでTOCを用いた。廃棄物という観点で考えると、易分解性と難分解性有機物の指標としてBOD/CODが用いられることが多いが、試験盛土浸透水のBOD/CODは0.1以下であり易分解性有機物量は極めて少ない状況であることがわかる。E260/TOCの値は分別土A種で12~27程度であり、A1~A4に比較してA5とA6が大きな値となっている。これは、A1~4は法面部の下部の基盤層に設置しているが、A5~6は天端の下部の基盤層に設置しているため、分別土の層厚が異なっていることが原因と考えられる。分別土B種のE260/TOCについては、A種に比較すると総じて大きな値となっている。ただし、B6についてはA種よりも低い結果となり、分別土A種とは異なる挙動も確認されている。E260/TOCに明確な基準値はないが、長野県の湖沼水のE260/DOCの値は11~38程度と報告<sup>3)</sup>されており、大阪市の河川水域では12~18程度<sup>4)</sup>であることから、A種の浸透水は河川水域とほぼ同等、B種の浸透水は湖沼水とほぼ同等の汚濁指標といえる。BOD/COD の指標を用いる場合、BOD試験には少なくとも5日間を要することから、災害時における有機物指標としては適していないと考えられる。

そこで、E260/TOCを有機汚濁の大体指標として用いる可能性について検討した。図1.2-10 (c) をみると、BOD/CODの増加と共にE260/TOCが減少している傾向が確認できる。線形で近似するとBOD/CODが増加したときにE260/TOCの値が負になることから、ここでは累乗近似とした。E260/TOC が減少することは水質が改善される方向であるが、BOD/CODが増加するのは水質が悪化している指標になることから、この関係は辻褃が合っていない。BOD/CODは易分解性有機物量を測る指標であるが、E260/TOCは難分解性有機物の指標であるため、BOD/CODが0.1以下のような汚濁成分の少ない環境下では、両者に明確な相関が無い可能性もある。そのため、E260/TOCをBOD/CODの代替指標としてでは無く、有機汚濁成分の指標としてE260/TOCそのものの値を用いる方が無難な気がしている。今後、更にデータを蓄積し、有機炭素成分の具体等についても検討していく予定である。

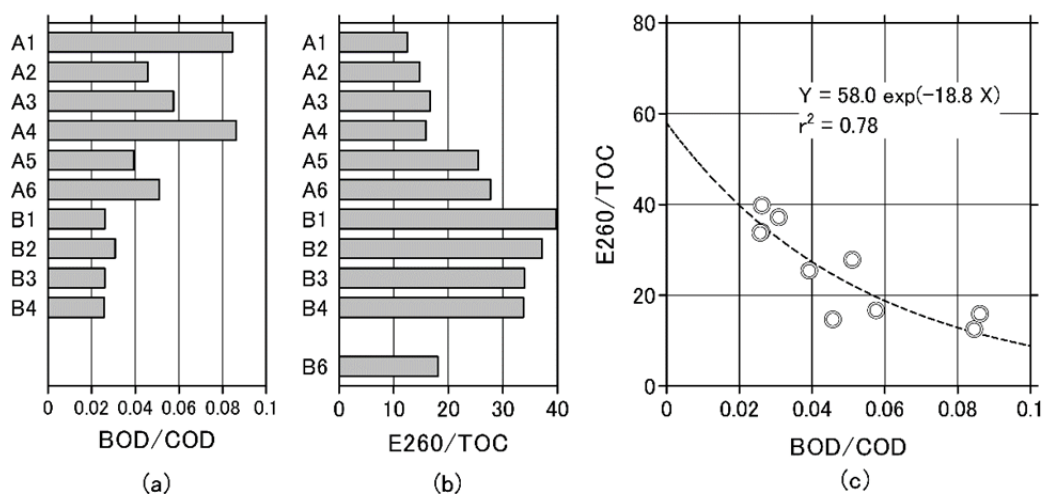


図 1.2-10 浸透水の有機汚濁成分の評価

### (e) 土壌ガス組成

各試験盛土に設置した3本のガス採取管から採取された土壌ガスの組成を表1.2-14に示す。表中の酸素、二酸化炭素、窒素以外に、メタン、水素、一酸化炭素、硫化水素ガスの測定を行ったが、いずれも定量下限値未満であり、今回の調査ではガスが検出されなかった。酸素濃度は「B中」の初期数十日は酸素が消費されていることが伺えるが、その後に大気濃度にほぼ等しくなっていることから、酸素消費速度がかなり低減したと推察される。窒素も同様であり、ほぼ大気と同値となっている。二酸化炭素は大気よりも高く、酸素濃度が明確に低下するような発熱を伴う速度ではないものの、好気性分解による微生物反応が進行していることが伺える。

表 1.2-14 浸透水の水質分析結果

項	H	日数	A北	A中	A南	B北	B中	B南
酸素 (%)		82	19	18	20	17	14	20
		90	20	18	20	18	14	21
		104	19	18	20	18	19	17
		124	20	20	20	19	21	19
		342	20	18	20	17	20	19
二酸化炭素 (%)		82	1.3	1.9	0.6	1.8	1.0	0.4
		90	1.0	2.0	0.7	2.0	1.3	0.4
		104	1.3	1.9	0.7	1.5	0.5	1.4
		124	0.4	0.3	0.8	1.6	0.2	1.0
		342	0.4	1.8	0.9	3.1	1.0	3.3
窒素 (%)		82	80	80	78	80	85	79
		90	79	80	79	81	85	78
		104	79	79	79	79	79	81
		124	78	78	79	78	79	80
		342	78	79	78	79	79	79

### 4) まとめ

災害廃棄物由来の分別土A種（津波堆積物由来）と分別土B種（混合廃棄物由来）を用いた試験盛土を構築し、初期の1年間のモニタリングによって得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 材料特性として250～800℃の温度域で強熱減量試験をした結果、分別土A種よりもB種の方が減量値が大きくなる傾向が確認された。
- 2) 溶出量試験結果より、生活環境項目の汚濁成分をみると、分別土A種よりもB種の方が大きくなる傾向が確認された。特に、CODならびにTOCの値が大きく異なっており、B種はA種の数倍の値であった。
- 3) 溶出量試験ならびに含有量試験の結果、鉛、砒素、フッ素、ホウ素が検出されたが、いずれも土壌汚染対策法の基準値未満であった。
- 4) 試験盛土に対して現場密度試験を実施した結果、砂置換法とRI法のいずれの方法でも同様の値が得られた。現場的に同じエネルギーで現場締固め管理を行ったが、分別土A種よりもB種の方が締固め度が大きくなる結果となった。
- 5) 層別の沈下板や測量杭も用いて変位を測定した結果、水平方向の変位は1年間で18 mm 以下であり、沈下はA種で50 mm程度、B種で40 mm程度であり、それぞれの沈下ひずみは1.6%、1.3%と計算された。また、沈下曲線をみると、分別土B種の沈下が収束傾向であるのに対し、A種では1年を経過した後でも、沈下が継続していることが確認された。これは、A種の方が締固め度が小さかったことも要因の一つとして考えられる。
- 6) 高さ3mの盛土を構築して試験盛土としたが、分別土A種、B種ともに発熱現象は生じておらず、堆積物火災のような温度挙動は全く確認されなかった。
- 7) 浸透水の水質を分析した結果、分別土B種のORPが低く、A種の浸透水も時間の経過と共にORPが減少する傾向が確認された。また、A種、B種ともにBODは低いものの、B種のCODとTOCが

高くなることもわかった。この結果は溶出量試験と同様の結果となった。

- 8) 災害時に迅速に汚濁成分を測定するため、BOD/CODの代替指標としてE260/TOCを用いることの可能性について検証した結果、直接的な代替指標とはなりにくいが、E260/TOCの値自体を評価して汚濁性の良否を判定できる可能性が示唆された。本試験盛土浸透水の結果は、一般河川や湖沼水と同等のE260/TOCの数値であった。
- 9) 試験盛土内の土壌ガス組成を分析した結果、メタンや水素ガス、硫化水素ガスの発生は認められなかった。二酸化炭素が大気よりも高い濃度であるものの、酸素と窒素濃度は、ほぼ大気濃度となっており、活発なガスの発生は確認されなかったことから、微生物活動も活発で無いことが推察され、分別土内の木質等の有機物分解に起因する沈下の可能性は低いことが推測された。

### 参考文献

- 1) 岩手県環境生活部 (2013) 岩手県復興資材活用マニュアル (改訂版) . 5-9
- 2) Zumstein J., Buffle J. (1989) Circulation of Pedogenic and Aquagenic Organic Matter in an Eutrophic Lake. *Water Research*. Vol. 23, No. 2, 229-239
- 3) 小澤秀明, 今井章雄, 福島武彦 (2005) 長野県内のいくつかの湖沼水のトリハロメタン生成能. 長野県環境保全研究所研究報告, Vol.1, 1-8
- 4) 新也将尚, 西尾孝之, 藤原康博, 大島詔, 北野雅昭, 福山丈二 (2007) 大阪市内水域における難分解性有機物の特性解析. 大阪市立環科研報告, Vol. 69, 31-36

## (2) 津波堆積物由来の分別土砂と循環資材との混合による実証盛土試験

### 1) 目的

平成 25 年度「災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する調査業務」（以下「平成 25 年調査業務」という。）において、復興資材として津波堆積物由来の分別土砂や循環資材として製鋼スラグやコンクリート再生砕石を用いた実証盛土試験を行い、災害廃棄物から再生した復興資材の一つである分別土砂が土工材として十分に活用可能であることが示された。

そこで、昨年度に引き続き実証盛土のモニタリングを行い、実証データを蓄積することとした。

### 2) 試料特性

#### (a) 試料の種類

試料は、高度選別された津波堆積物（宮城県気仙沼ブロック処理土 10mm 通過分、以下津波堆積物と呼ぶ）および津波堆積物とコンクリート再生砕石（宮城県気仙沼ブロック破碎がれき 40mm 通過分、以下再生砕石と呼ぶ）ならびに各種循環資材の混合土を用いた。

- ・ 津波堆積物の単体材料（以下、材料名を TD と称す）。
- ・ 津波堆積物と再生砕石の混合土（以下、材料名を TR と称す）。
- ・ 津波堆積物と石炭灰（東北電力㈱原町火力発電所産クリンカーアッシュ）の混合土（以下、材料名を TC と称す）。
- ・ 津波堆積物と製鋼スラグ（新日鐵住金㈱君津製鉄所産）の混合土（以下、材料名を TS と称す）。
- ・ 津波堆積物と製紙スラッジ焼却灰（日本製紙㈱岩沼工場産）を主原料とした石灰系固化材の混合土（以下、材料名を TP と称す）。

津波堆積物と再生砕石および循環資材の混合は、均一な混合攪拌が可能である一軸式油圧連続式ミキサーにより行った。TR 材料の混合比率は容積比で 1 : 0.2（＝津波堆積物：再生砕石）、津波堆積物と循環資材は津波堆積物のジッキングによるかさ密度を基本とした 100 kg/m<sup>3</sup> の混合割合を採用した。

#### (b) 基本物性

津波堆積物および混合土の室内基本物性値を総括して表 1.2-15 に示す。各材料の粒度組成は粒径加積曲線（図 1.2-11）および三角座標表示（図 1.2-12）に示したように、津波堆積物および混合土の細粒分含有率は（Fc）は 50%以下であり日本統一分類の細粒分質礫質砂（SFG）と細粒分質砂質礫（GFS）に区分される。

表 1.2-15 基本物性試験結果

基本物性試験結果

名 称		混合土 母材:TD					
		TD	TR	TC	TS	TP	
改質剤配合量 $\text{kg/m}^3$		0	0.2 (容積比)	100	100	100	
土粒子の密度 $\rho_s$ $\text{g/cm}^3$		2.683	2.724	2.645	2.766	2.672	
含水比 $w_n$ %		34.7	25.3	27.6	25.5	25.6	
粒度組成	最大粒径 $D_{max}$ mm	26.5	37.5	37.5	19.0	37.5	
	礫分 75~2.0 mm %	22.0	31.8	26.4	25.8	22.1	
	砂分 2.0~0.075 mm %	32.1	29.8	46.1	32.7	34.3	
	細粒分 75 $\mu\text{m}$ 未満 %	45.9	38.4	27.5	41.5	43.6	
	均等係数 $U_c$	-	-	-	-	-	
	曲率係数 $U_c'$	-	-	-	-	-	
地盤の工学的分類	分類名	細粒分質礫質砂	細粒分質砂質礫	細粒分質礫質砂	細粒分質礫質砂	細粒分質礫質砂	
	記号	(SFG)	(GFS)	(SFG)	(SFG)	(SFG)	
強熱減量	強熱温度 750 $^{\circ}\text{C}$ %	12.2	11.7	11.0	11.4	15.0	
	強熱温度 600 $^{\circ}\text{C}$ %	8.7	6.8	8.9	9.0	11.5	
	強熱温度 330 $^{\circ}\text{C}$ %	4.2	2.9	4.4	4.3	5.7	
可燃物混入率 (手選別)	5 mm以上 %	1.1	0.8	1.5	1.2	1.6	
	2~5 mm %	1.6	1.1	1.3	2.0	2.5	
	合計	2.6	1.9	2.8	3.2	4.1	
土懸濁液のpH		9.6	9.9	9.6	11.1	12.6	
締固め	方法	A-c	c	A-c	A-c	A-c	
	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ $\text{g/cm}^3$	1.414	1.500	1.400	1.395	1.212	
	最適含水比 $w_{opt}$ %	29.9	25.0	30.5	30.2	35.3	
設計CBR		2.1	8.8	4.4	6.1	38.2	
三軸	試験方法		CUb	CUb	CUb	CUb	CUb
	全	粘着力 $c$ $\text{kN/m}^2$	71.4	28.1	33.2	25.5	26.0
		せん断抵抗角 $\phi$ $^{\circ}$	23.0	29.8	28.2	26.0	26.7
	有効	粘着力 $c'$ $\text{kN/m}^2$	58.4	31.7	24.0	23.6	21.6
		せん断抵抗角 $\phi'$ $^{\circ}$	32.6	36.6	38.7	35.2	37.5

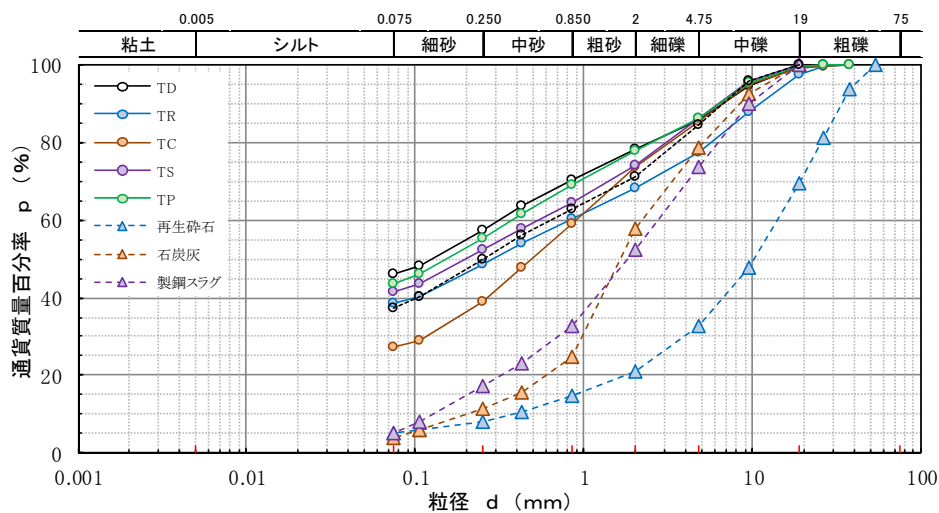


図 1.2-11 各材料の粒径加積曲線

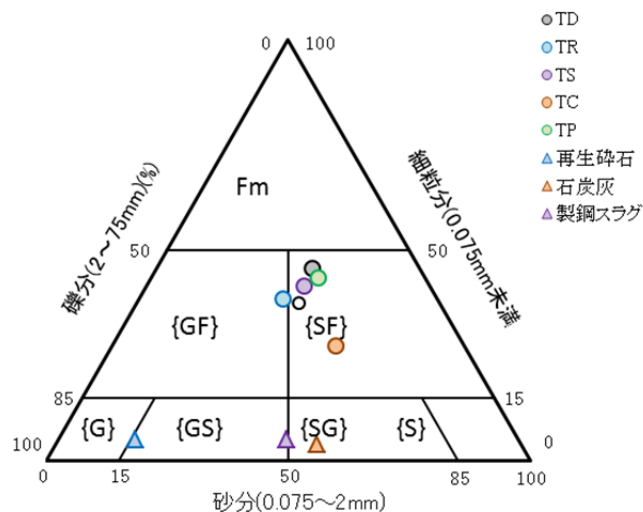


図 1.2-12 各材料の土質分類

**(c) 強熱減量および可燃物混合率**

強熱減量試験は、JIS A 1226 : 2009 に準拠して行った。ただし、加熱温度を同基準で規定されている 750±50 °C、熱しゃく減量試験（「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について」（平成 2 年衛環第 22 号環境整備課長通知別紙 2）で規定されている 600±25°C、紙等の有機物の発火点を参考として 330±25°C の 3 水準とした。また、2mm および 5mm 篩残留分を手選別し可燃物混入率を求めた。写真 1.2-2 は、各材料の手選別後の試料の状況を示したものである。

強熱温度を変えた強熱減量と可燃物混入率の関係を図 1.2-13 に示す。強熱減量は、可燃混入率の値より高い結果となっている。

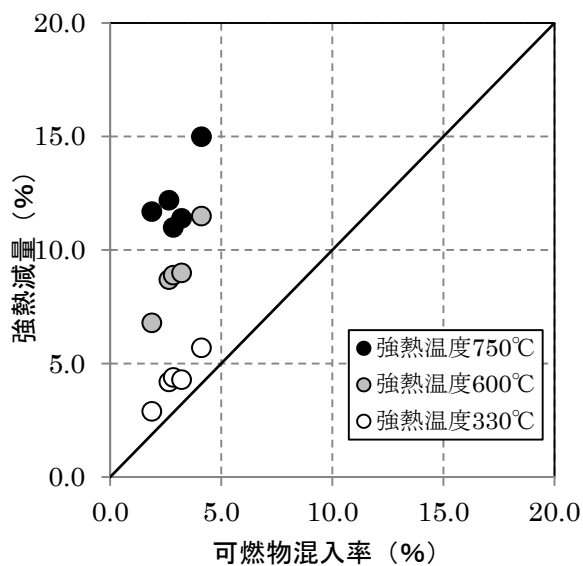


図 1.2-13 可燃混入率と強熱減量の関係












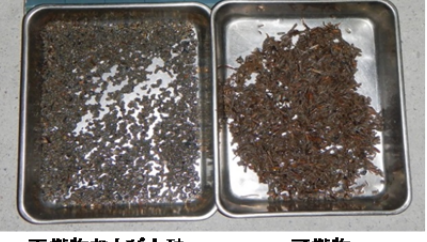
TD	
 <p>不燃物および土砂 粒径 5mm以上</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.1%</p>	 <p>不燃物および土砂 粒径 2~5mm</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.6%</p>
TR	
 <p>不燃物および土砂 粒径 5mm以上</p> <p>可燃物 可燃物混入率 0.8%</p>	 <p>不燃物および土砂 粒径 2~5mm</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.1%</p>
TC	
 <p>不燃物および土砂 粒径 5mm以上</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.5%</p>	 <p>不燃物および土砂 粒径 2~5mm</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.3%</p>
TS	
 <p>不燃物および土砂 粒径 5mm以上</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.2%</p>	 <p>不燃物および土砂 粒径 2~5mm</p> <p>可燃物 可燃物混入率 2.0%</p>
TP	
 <p>不燃物および土砂 粒径 5mm以上</p> <p>可燃物 可燃物混入率 1.6%</p>	 <p>不燃物および土砂 粒径 2~5mm</p> <p>可燃物 可燃物混入率 2.5%</p>

写真 1.2-2 2mm 以上選別後の試料

**(d) 締固め特性および強度特性**

締固め仕事量  $E_c \approx 550 \text{ kJ/m}^3$  の “0k/m び強 Proctor” の条件で行った突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) において得られた各材料の最大乾燥密度は、TD ;  $\rho_D$  おいて  $= 1.414 \text{ g/cm}^3$ 、TR ;  $1.500 \text{ g/cm}^3$ 、TC ;  $1.400 \text{ g/cm}^3$ 、TS ;  $1.395 \text{ g/cm}^3$ 、TP ;  $1.212 \text{ g/cm}^3$  であった。また、含水比の変化による強度特性を調べるために、締固め曲線上の密度と含水比の関係において、最適含水比 ( $w_{opt}$ )、D 値 90% 湿潤側含水比 ( $D90w_{wet}$ )、最適含水比と湿潤側含水比の中間点および採取時自然含水比 ( $w_n$ ) の締固め状態で CBR 値を計測した。図 1.2-14 に示すように CBR 値は含水比が最適含水比を超えると急激に低下することがわかる。また、圧密非排水条件で実施した三軸圧縮試験で得られた強度定数は、図 1.2-15 および表 1.2-16 に示すように一般的な砂質～礫質土と同程度の値が得られており堤防や道路盛土への活用が十分可能な強度を有していることが確認された。

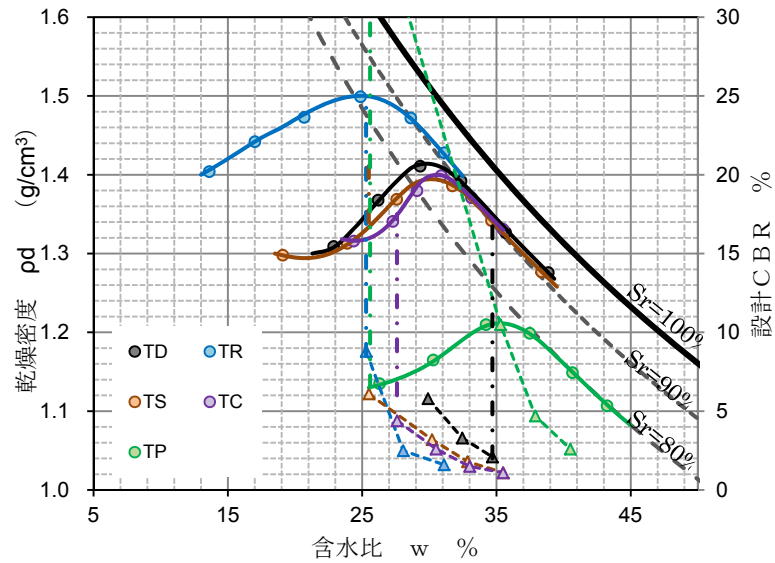


図 1.2-14 締固め曲線および CBR 値の関係

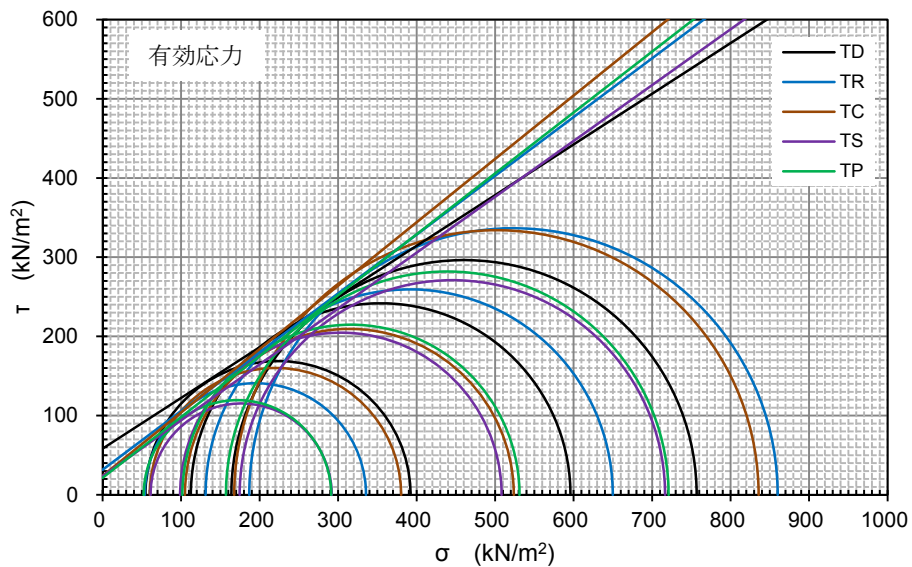


図 1.2-15 三軸圧縮試験結果



表 1.2-16 各材料のせん断強度

項目	TD	TR	TC	TS	TP
c (kN/m <sup>2</sup> )	58.4	31.7	24.0	23.6	21.6
φ' (°)	32.6	36.6	38.7	35.2	37.5

(e) 透水性

締固め曲線に対応した締固め条件で実施した透水試験より、各材料の透水性を把握した。得られた透水係数は、図 1.2-16 に示すように  $k=1$  示すよ<sup>6</sup> $\sim 10^{-9}$ m/s の範囲にあり半透水～不透水性材料の透水性を持つことが確認され、堤防などの水利構造物の築堤材料として活用が見込まれる。また、各材料の透水係数の最小値が得られる締固め条件は、一般的な土質材料の特性と一致しており、最適含水比より若干高い含水比での締固め状態で得られる。

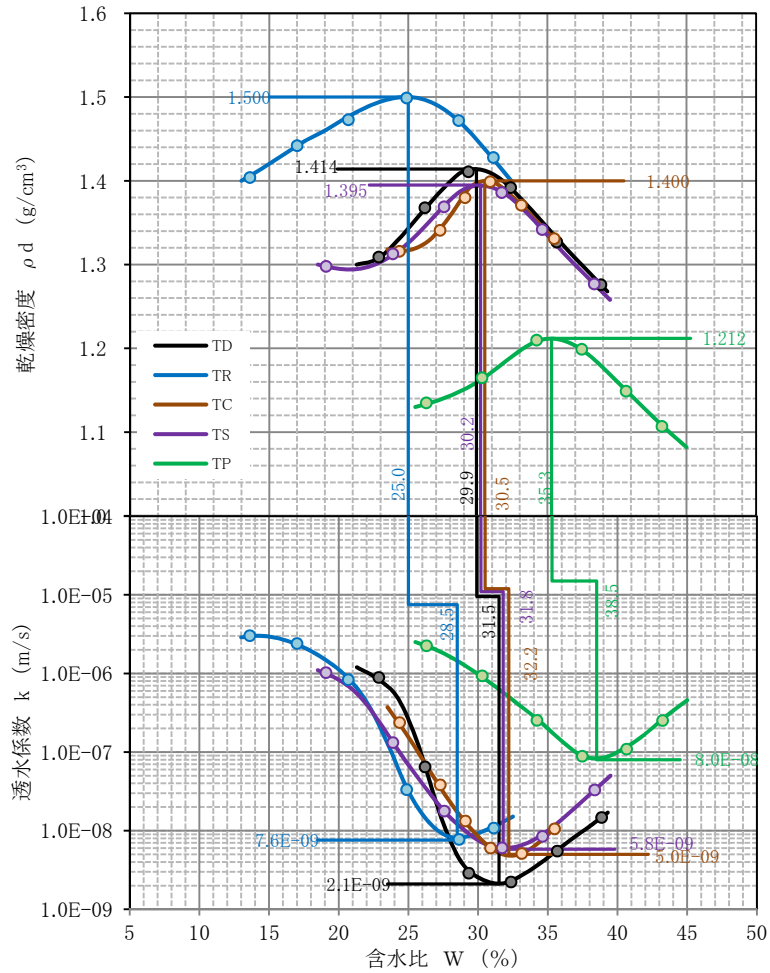


図 1.2-16 締固め特性と透水係数の関係

**(f) 環境安全性**

環境安全性の確認を行うため、土壌溶出量試験（環境庁告示；第 46 号 平成 3 年 8 月 23 日）および土壌含有量試験（環境省告示；第 19 号 平成 15 年 3 月 6 日）を実施した。試験結果を表 1.2-17 に示すように、TP のふっ素の土壌溶出量が基準値を満足しないが、その他の項目は全て基準値を満足している。

**表 1.2-17(1) 土壌溶出量試験結果 (mg/L)**

特定有害物質	汚染状態に関する基準 <sup>※1)</sup>	TD	TR	TC	TS	TP
四塩化炭素	0.002 以下	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満
1,2-ジクロロエタン	0.004 以下	0.0004 未満	0.0004 未満	0.0004 未満	0.0004 未満	0.0004 未満
1,1-ジクロロエチレン	0.02 以下	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 以下	0.004 未満	0.004 未満	0.004 未満	0.004 未満	0.004 未満
1,3-ジクロロプロペン	0.002 以下	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満
ジクロロメタン	0.02 以下	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
テトラクロロエチレン	0.01 以下	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満
1,1,1-トリクロロエタン	1.0 以下	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
1,1,2-トリクロロエタン	0.006 以下	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満
トリクロロエチレン	0.03 以下	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
ベンゼン	0.01 以下	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
カドミウム	0.01 以下	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
六価クロム化合物	0.05 以下	0.01 未満	0.01	0.01 未満	0.01 未満	0.01
シアン化合物	検出されないこと	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
水銀	検出されないこと <sup>※2)</sup>	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満
セレン	0.01 以下	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
鉛	0.01 以下	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005
砒素	0.01 以下	0.009	0.009	0.009	0.009	0.005 未満
ふっ素	0.8 以下	0.14	0.10	0.15	0.39	1.4
ほう素	1.0 以下	0.13	0.08	0.16	0.04	0.02 未満
シマジン	0.003 以下	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満
チオベンカルブ	0.02 以下	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
チウラム	0.006 以下	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満
ポリ塩化ビフェニル (PCB)	検出されないこと	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
有機りん化合物	検出されないこと	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず

※1) 汚染状態に関する基準とは、土壌汚染対策法（平成 14 年法律第 53 号）の要措置区域等の指定に係る基準を示す。

※2) 水銀が 0.0005 以下、かつ、アルキル水銀が検出されないこと。

※3) 遊離シアンとして。

表 1.2-17(2) 土壌含有量試験結果

特定有害物質	汚染状態に関する基準 <sup>※1)</sup>	TD	TR	TC	TS	TP
カドミウム	150 以下	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満
六価クロム化合物	250 以下	2 未満	2 未満	2 未満	2 未満	2 未満
シアン化合物	50 以下 <sup>※3)</sup>	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
水銀	15 以下	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満
セレン	150 以下	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満	0.5 未満
鉛	150 以下	33	21	29	31	53
砒素	150 以下	8.5	8.0	7.3	8.6	9.6
ふっ素	4000 以下	76	80	72	97	110
ほう素	4000 以下	10	8.0	10	17	15

※1) 汚染状態に関する基準とは、土壌汚染対策法（平成 14 年法律第 53 号）の要措置区域等の指定に係る基準を示す。

※2) 水銀が 0.0005 以下、かつ、アルキル水銀が検出されないこと。

※3) 遊離シアンとして。

### 3) 現地転圧試験

一般土工における転圧の標準仕様により（撒出し機種：7t 級ブルドーザーによる敷均し、10t 級タイヤローラー転圧、仕上がり厚 30cm、圧回数：4～8 回）により現地盛立試験を行い施工性の確認を行った。撒きだし厚さと仕上がり厚さの関係は図 1.2-17 に示すとおりであり、撒き出し厚さを 35～39cm で行えば仕上がり厚さは 30cm 以下となることが確認された。また、図 1.2-18 に示すとおり、津波堆積土の自然含水比は D 値 90%の湿潤側 (D90<sub>w<sub>wet</sub></sub>) の含水比状態にあるが、再生砕石、石炭灰、鋼製スラグを混合することにより最適含水比 (w<sub>opt</sub>) 状態に改良される。TP では、固化反応によりさらに含水比が低下して”パサパサ”した状態になり、施工性が低下して十分な締固め効果が得られなかった。

図 1.2-19 に原位置転圧試験結果の一例を示す。同図は、転圧回数 (N) と締固め度 (D 値)、空気間隙率(va 値)との関係に測定された D 値のヒストグラムを示している。この図から、転圧回数の増加に伴い測定値の平均 D 値 (図中実線) は増加するが、各転圧回数の D 値のばらつき (標準偏差:準) 転圧回数を増やしても同様な幅を示していることがわかる。このことは、原位置締固めにおける材料の密度のばらつきは、転圧エネルギーの増加に伴い変化しないことを意味している。このような傾向は、高速道路盛土の盛立試験においても観測されており、高速道路の管理においては現場で必然的に生じる材料変化に伴う密度のばらつきを容認し、迅速に現場密度測定を可能にした RI 法の導入によって施工ヤードの多数点測定による平均値管理を採用している。

続いて、現場 CBR 試験を行い転圧盛土の強度を把握した。図 1.2-10 に示すとおり TD とそれ以外の試料の室内および現場の強度特性はほぼ一致しており一般土と類似した傾向を示す。

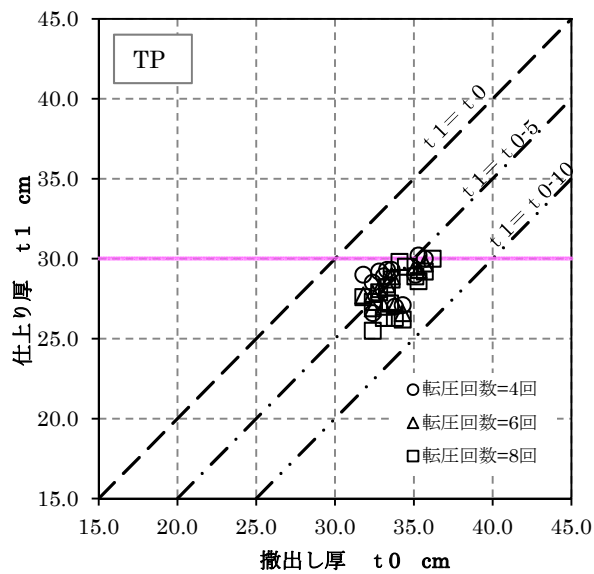
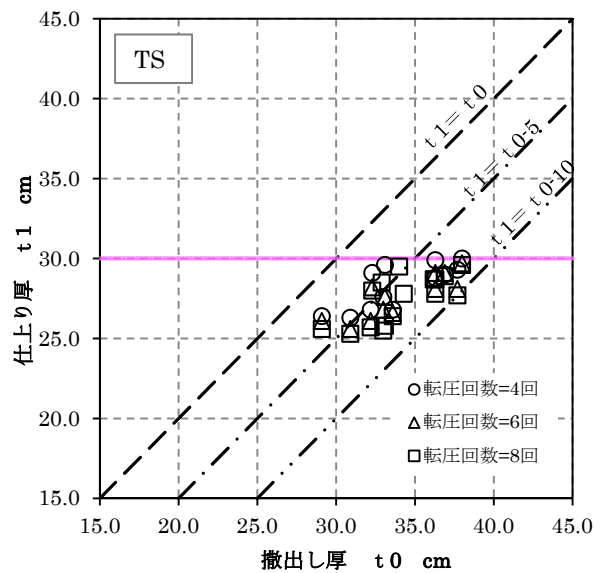
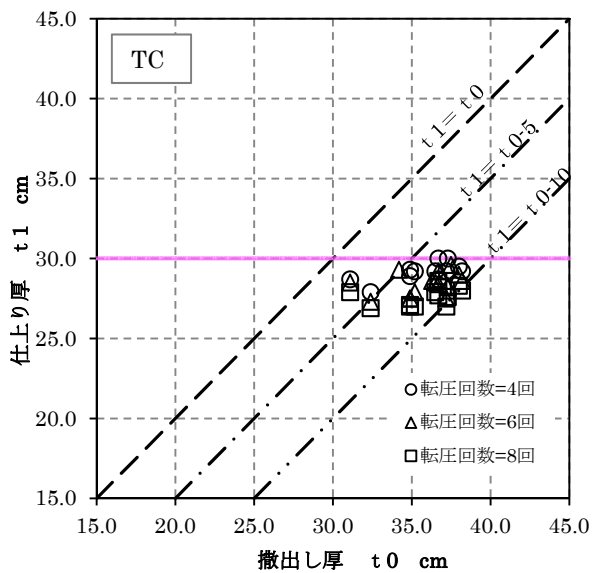
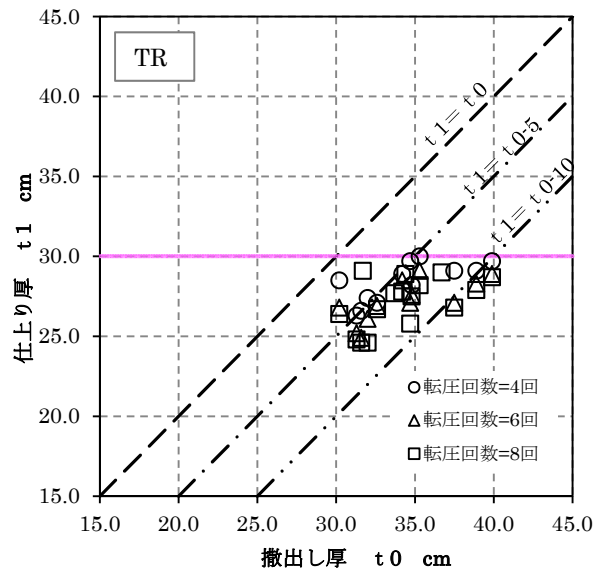
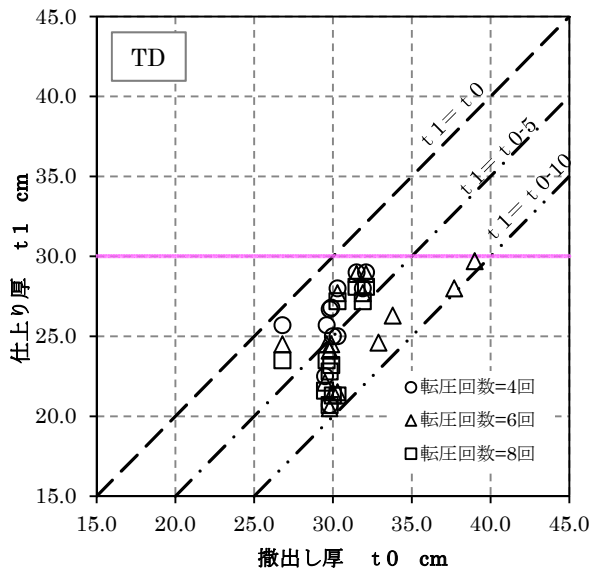


図 1.2-17 撤き出し厚と仕上り厚の関係

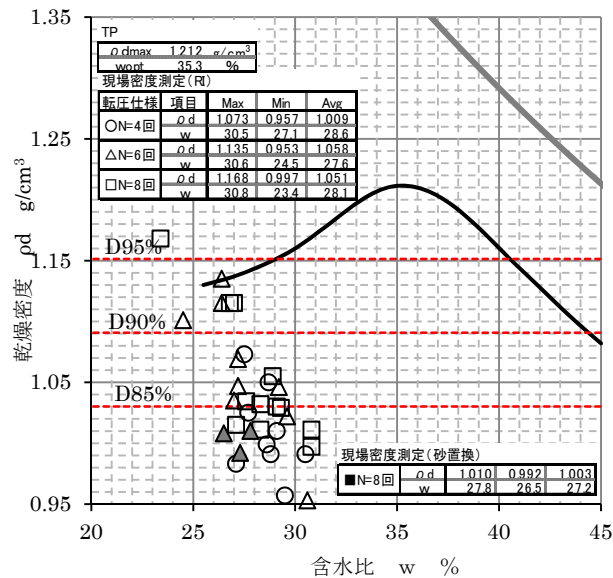
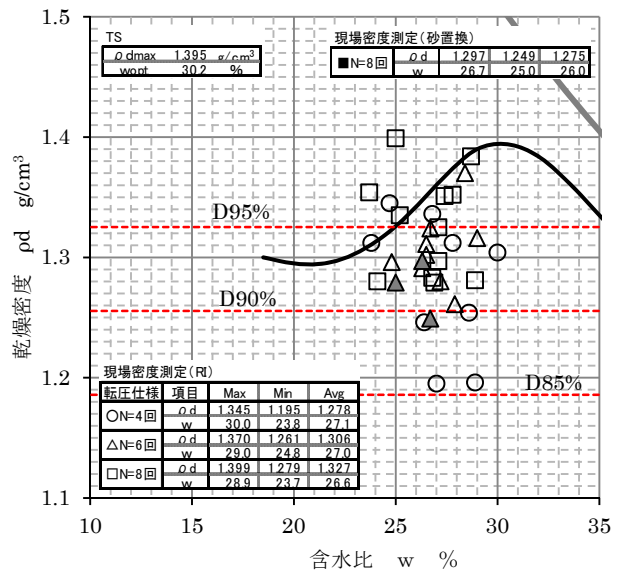
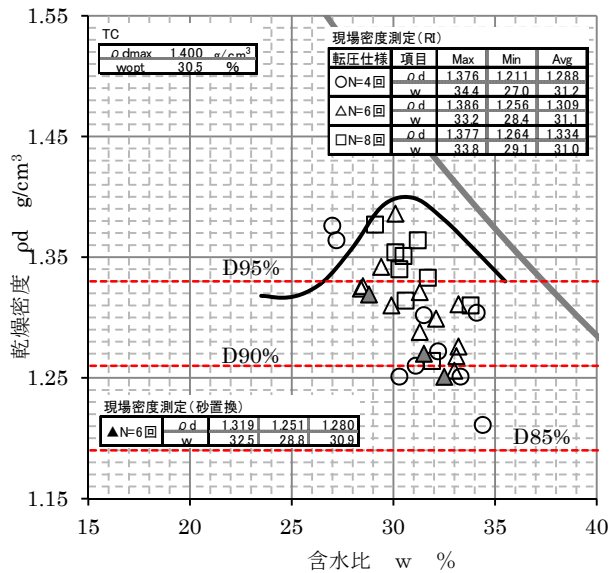
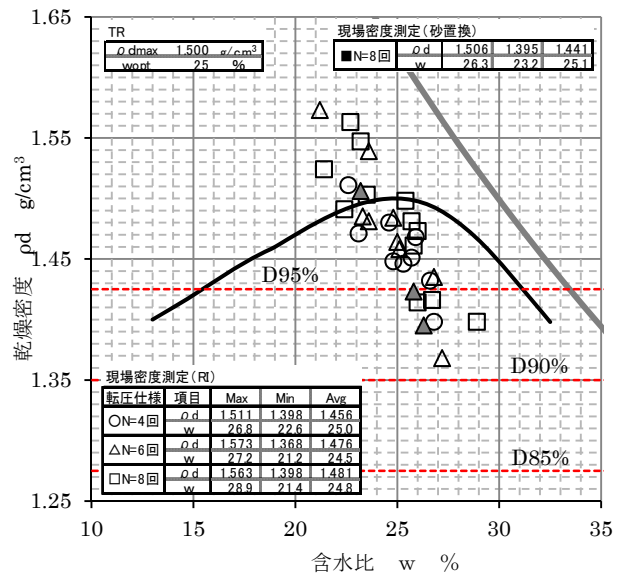
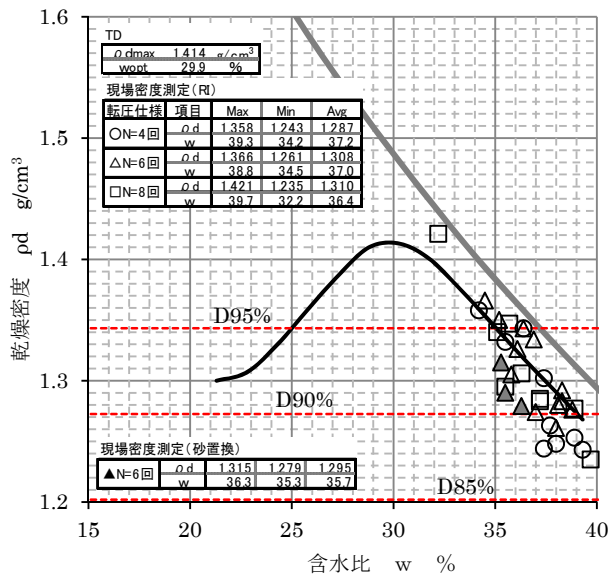


図 1.2-18 締固め曲線と現地締固めの関係

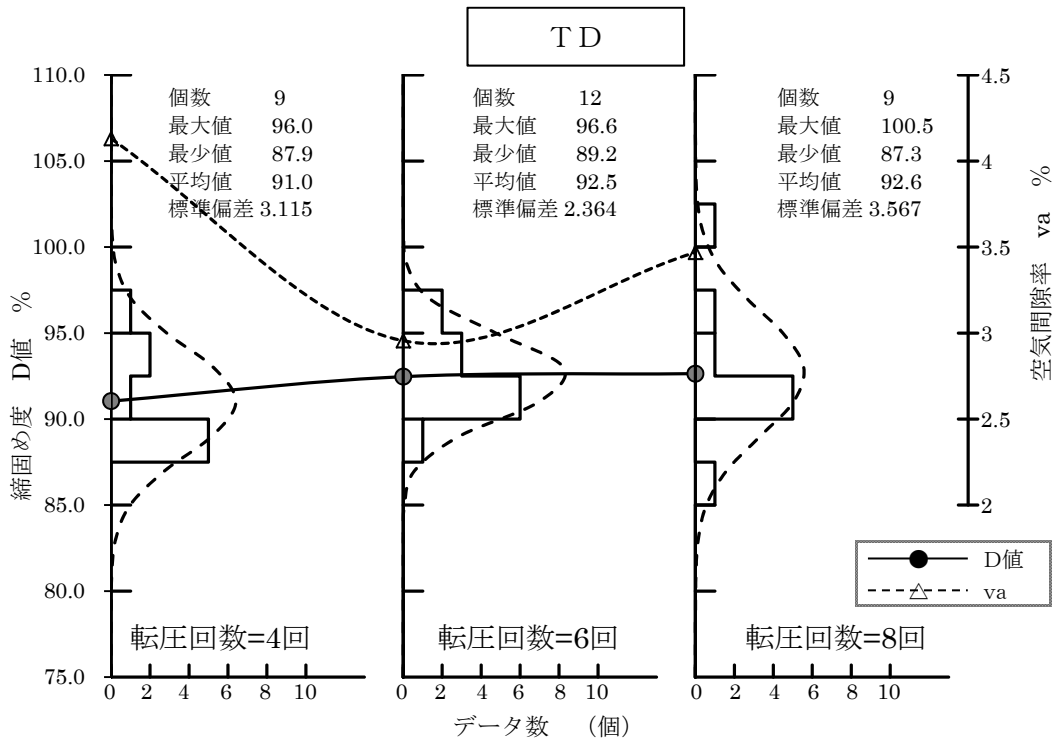


図 1.2-19 (1) 転圧回数と締固め度の関係 (TD)

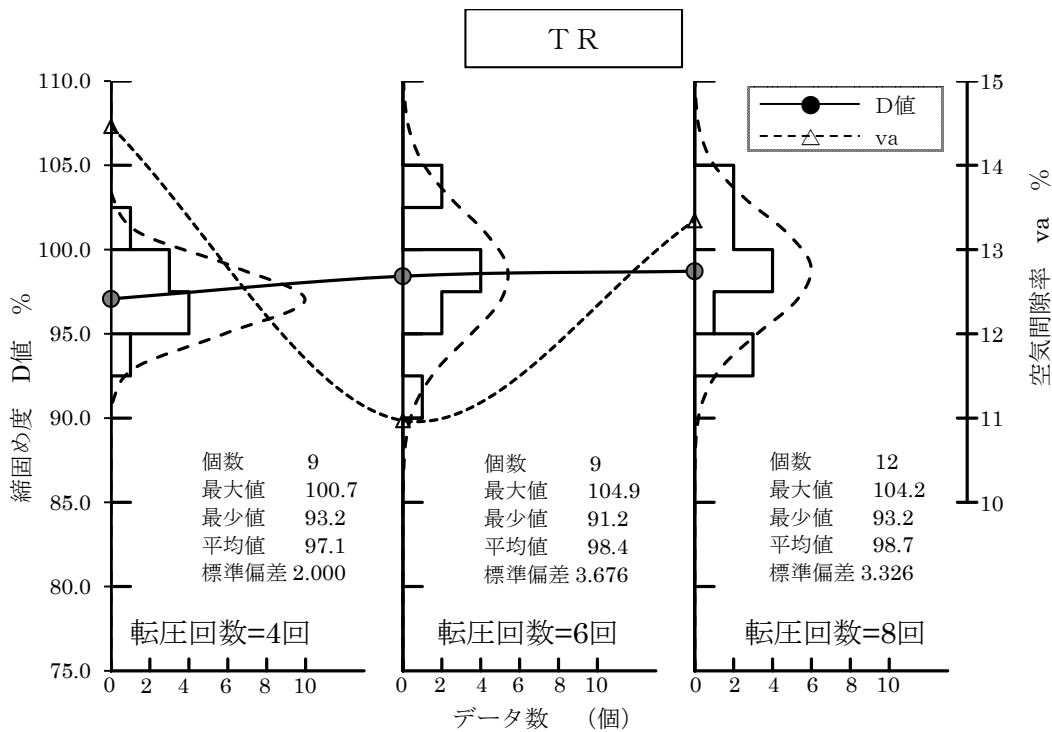


図 1.2-19 (2) 転圧回数と締固め度の関係 (TR)

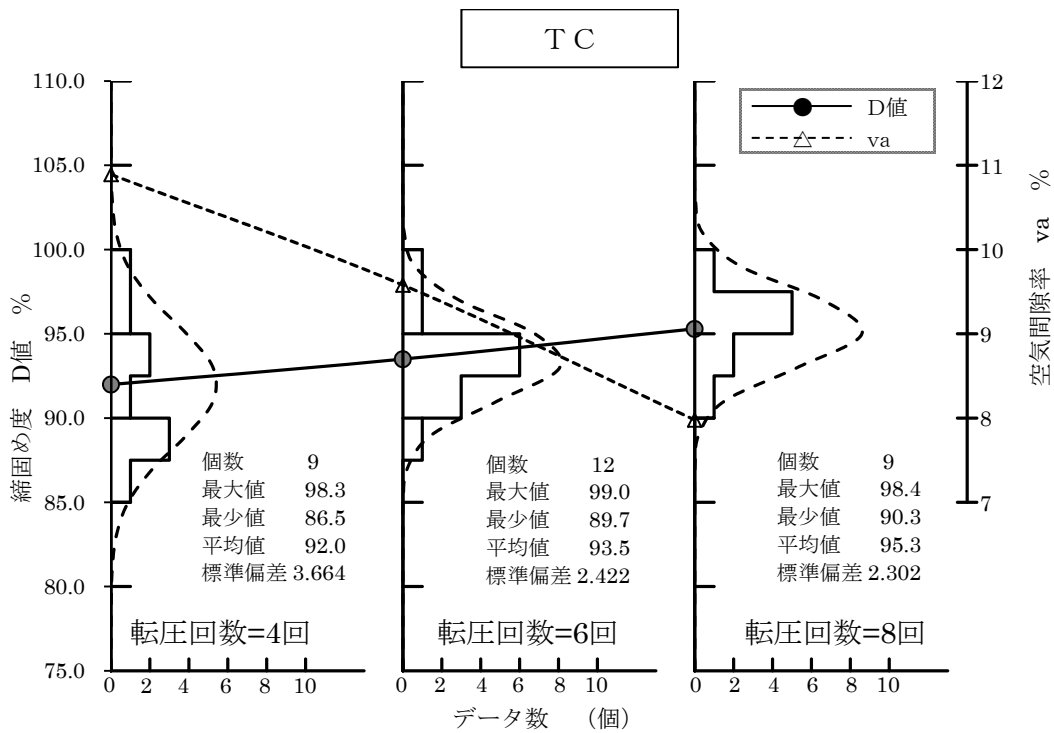


図 1.2-19 (3) 転圧回数と締固め度の関係 (TC)

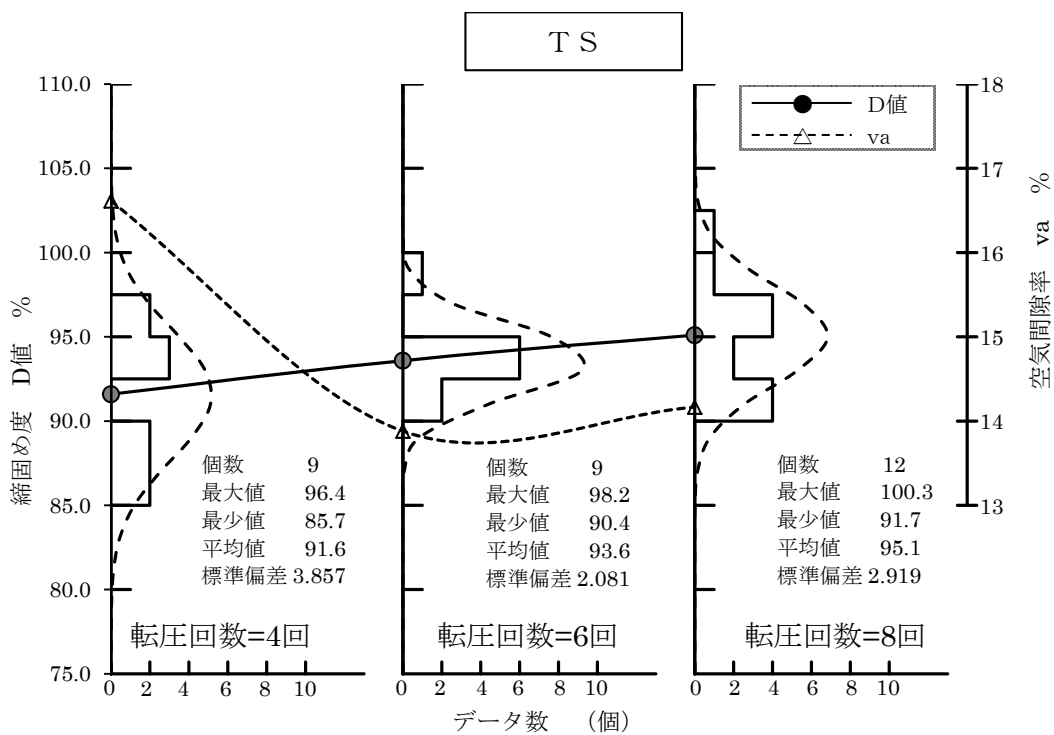


図 1.2-19 (4) 転圧回数と締固め度の関係 (TS)

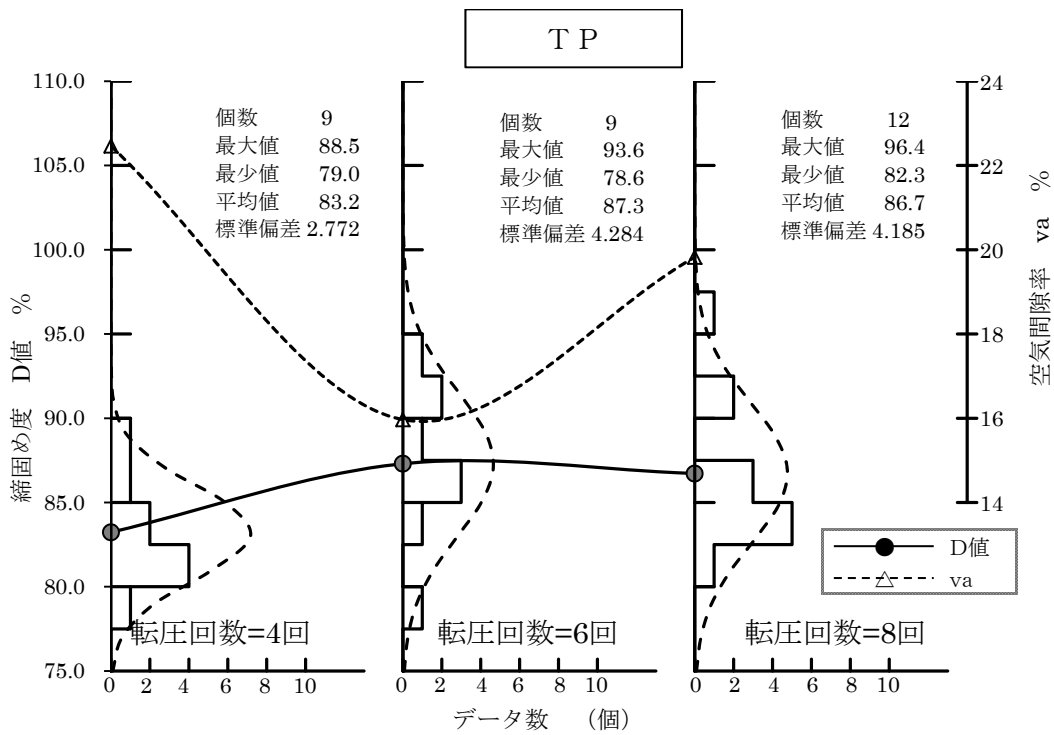


図 1.2-19 (5) 転圧回数と締固め度の関係 (TP)

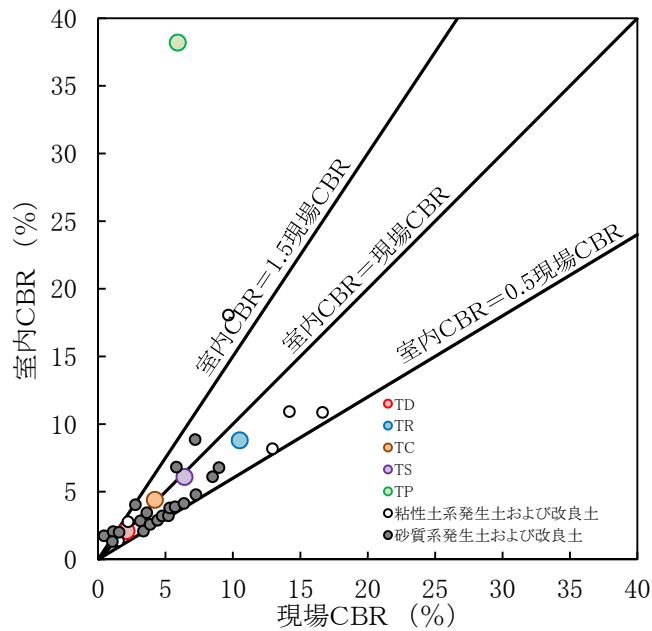


図 1.2-20 現場 CBR 室内 CBR (設計 CBR) の対比



#### 4) モニタリング

##### (a) モニタリング実施項目

実証盛土において、表 1.2-18 に示す期間に 4 回のモニタリング調査を行った。

表 1.2-18 モニタリング項目および数量

項目	規格	H25 12/12	H26 1/30	H26 7/24	H26 10/7	計
沈下量測定	レベル測量	20	20	20	20	80
土壌硬度		10	10	10	10	40
現場 CBR 試験	JIS A 1222	5	5	5	5	20
植生調査	—			1	1	2
土懸濁液の pH 試験	JGS 0211	15	15	15	15	60
浸出水の分析		5	5	5	5	20

- ・沈下量測定：天端 4 測点のレベル測量による沈下量の計測。
- ・土壌硬度：貫入式土壌硬度計を用い実証盛土法面（東面：軽度な土羽うち法面，北面：入念な土羽打ち法面）の土壌硬度の計測。
- ・植生調査：実証盛土での植生・植被の調査。
- ・現場 CBR 試験：実証盛土天端で JIS A 1222 に準拠して実施。
- ・土懸濁液の pH 試験：JGS 0211 に準拠し実施した。検体は、軽度な土羽打ち法面に対し表層・GL-0.1m・GL-0.3m の 3 地点から採取。
- ・浸出水の分析：実証盛土に設けた底設暗渠に連結した貯留水の水質調査（平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 17 号）。

##### (b) 沈下量

表 1.2-19 は各材料で盛り立てた実証盛土の沈下量 (S) と S を実証盛土高さ (H) で除した沈下率 (S/H;%) を示す。また、図 1.2-20 は気仙沼観測所で得られた気象条件（降雨、気温）と対比して沈下量と沈下率の経時変化を整理したものである。盛土沈下率は、TD の 0.95% に対し混合土は 0.53~ -0.2% を示し、各種混合物の添加により沈下は抑制される傾向にあることが理解される。

表 1.2-19 盛土沈下率

		12/12	1/30	7/24	10/7	
TD	S (mm)	1.25	6.25	13.00	14.25	H <sub>0</sub> =1505
	S/H (%)	0.08	0.42	0.36	0.95	
TR	S (mm)	-2.50	-2.00	5.50	1.75	H <sub>0</sub> =1508
	S/H (%)	-0.17	-0.13	0.36	0.12	
TC	S (mm)	0.00	1.25	9.25	8.00	H <sub>0</sub> =1506
	S/H (%)	0.00	0.08	0.61	0.53	
TS	S (mm)	1.25	1.25	7.00	4.25	H <sub>0</sub> =1504
	S/H (%)	0.08	0.08	0.47	0.28	
TP	S (mm)	0.25	-1.25	-1.25	-3.00	H <sub>0</sub> =1503
	S/H (%)	0.02	-0.08	-0.08	-0.20	

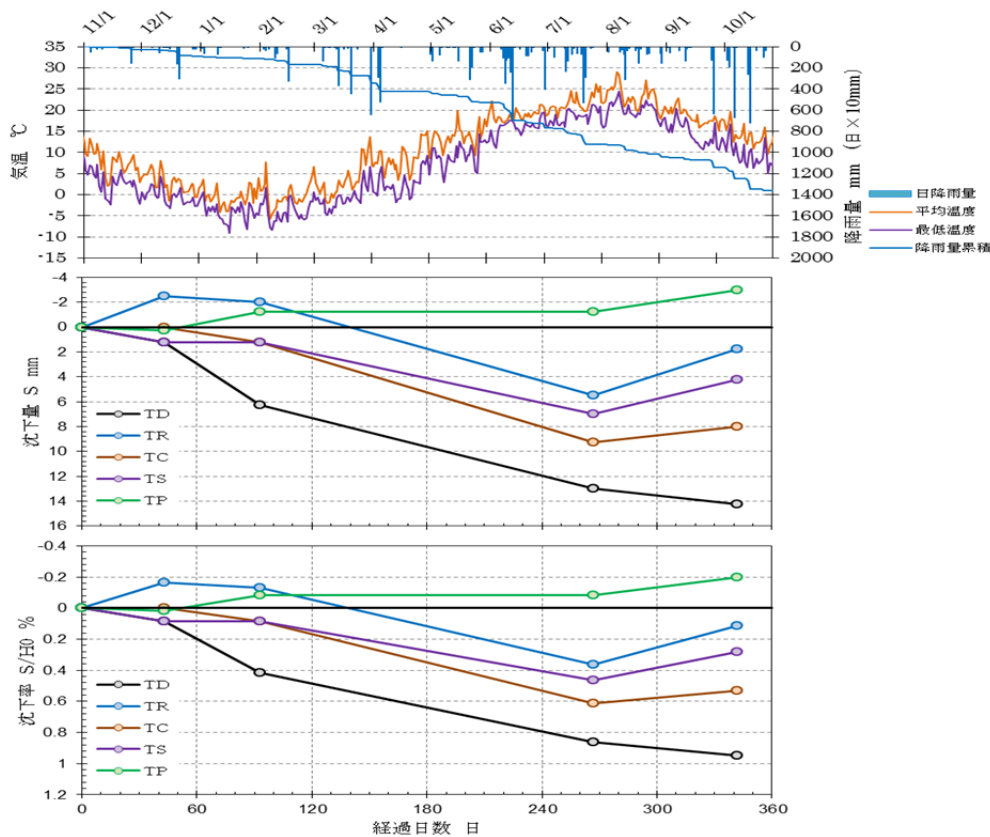


図 1.2-10 沈下量（沈下率）モニタリング結果

(c) 盛土法面の土壌硬度

土壌硬度は軽度な土羽打ち法面（東面）と入念な土羽打ち法面（北面）において測定した。港湾緑地の植生設計・施工マニュアルによれば、土壌硬度の観点から法面における植生の活着の目安値として 23 以下を提唱している。表 1.2-20、図 1.2-21 に示すとおり、今回の実証盛土においては入念な土羽打ちを行った場合においても凍上や乾湿の繰り返しにより盛土表面の土壌硬度は 23 程度となる事が判明した。一方、軽度な土羽打ち法面の土壌硬度は、整形時より目安値の 23 以下でありその後の土壌硬度の低下は顕著でなく、事項で示すように種子の飛来およびシードバンクによる発芽により植生が活着する結果となっている。

表 1.2-20 土壌硬度測定結果

	土壌硬度 (mm)									
	10/30(造成時)		12/12		1/30		7/24		10/7	
	東	北	東	北	東	北	東	北	東	北
TD	9.8	24.7	17.0	26.4	8.8	16.0	11.6	22.2	10.2	16.0
TR	12.4	26.8	12.7	30.1	11.8	18.8	14.4	21.8	11.8	15.0
TC	4.0	27.9	5.6	28.4	3.6	17.7	7.2	21.2	6.8	17.8
TS	5.1	25.3	4.9	30.0	5.0	17.1	5.6	13.2	3.2	15.0
TP	0.0	19.9	1.6	23.7	1.8	21.5	5.4	19.6	6.0	15.0

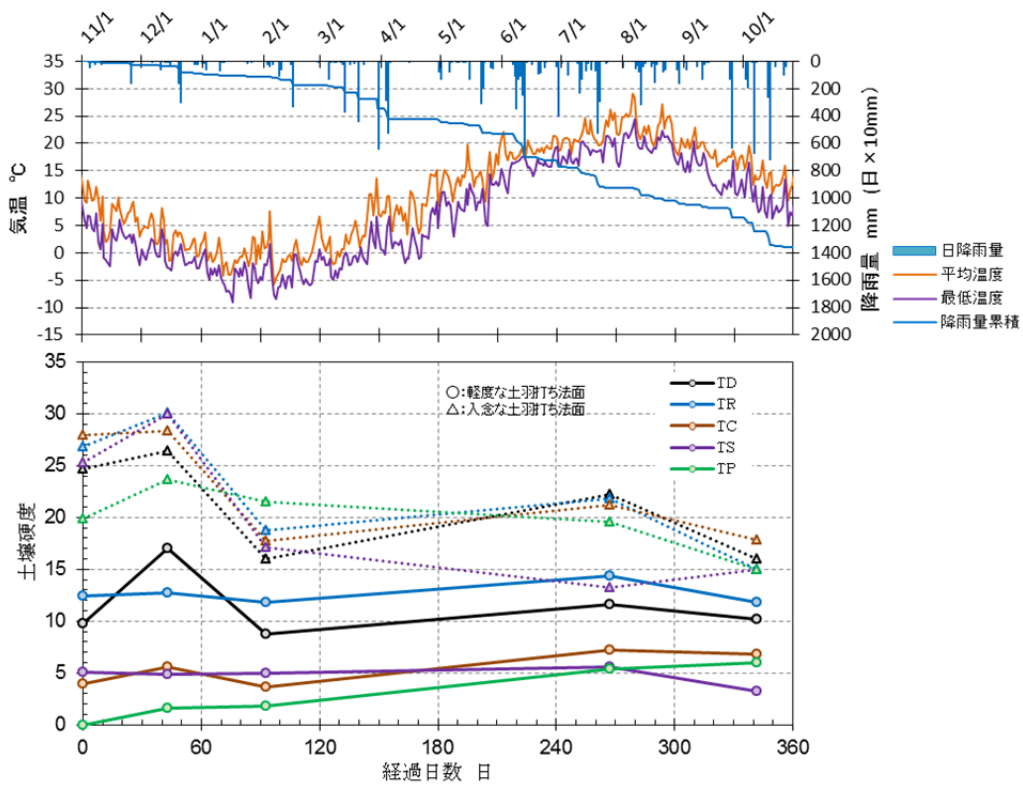


図 1.2-11 土壤硬度モニタリング結果

(d) 盛土の植生状況

写真 1.2-3 および 1.2-4 に、盛土の植生状況を示す。盛土表面積に対して植生の秘める面積から植被率を求めると、TD : 20~25%, TR : 30~35%, TC : 10~15%, TS : 5%程度, TP : 10~15%となる。ただし、TP についてはコケ類のみの植生でありこれ以外の植生は生育されていない。また、植生は軽度な土羽打ち法面の植生が主体であり、入念な土羽打ちを行った法面には植生が観られなかった。植種構成は、主にイネ科, タデ科, カヤツグサ科, アカザ科, ツユクサ科, アカバナ科が生息する。また、数本ではあるがナス科, キク科, ウリ科等が生息していた。













盛立直後 (H25. 10. 30)		経過観察 (H26. 7. 24)	
			
	撮影日：H26. 7. 24	撮影日：H26. 10. 7	主な植生
TD			アカバナ科 イネ科 タデ科 ナス科  その他
TR			アカバナ科 ツユクサ科 イネ科 タデ科 カツヤグサ科 ヤマゴボウ科 キク科  その他
TC			イネ科 アカザ科 キク科  その他
TS			ウリ科 カツヤグサ科  その他
TP			苔類

写真 1.2-3 盛土ヤードの植生状況




















イネ科				
	イヌビエ	イヌビエ	イヌビエ	イヌビエ
カヤツグサ科				
タデ科				
	オオイヌタデ	ギンギン	ミチャナギ	イヌタデ
アカザ科				
	コアカザ	シロザ	ホコガタアカザ	ホコガタアカザ 他
アカバナ科				
	コマツヨイグサ	コマツヨイグサ	コマツヨイグサ	
その他				
	ナス科 イヌホオズキ類	キク科 ノボロギク	ウリ科 アレチウリ	

写真 1.2-4 (1) 平成 26 年 7 月 24 日に観察された植生の主な種類

(盛立面に生息する) 主たる種類			
			
イネ科 イヌビエ	タデ科 イヌタデ	ツユクサ科 ツユクサ	スベリヒユ科 スベリヒユ
カヤツグサ科	アカザ科	アカバナ科	
(盛立面に生息する) 希少種			
			
キク科 ノボロギク	ヤマゴボウ科 ヨウシュヤマゴボウ	ウリ科 アレチウリ	ナス科 トマト類
			
苔類			

写真 1.2-4 (2) 平成 26 年 10 月 7 日に観察された植生の主な種類

(e) 現場 CBR 試験

実証盛土の天端において現場 CBR 試験を行い強度の経時変化を把握した。試験結果は表 1.2-21、図 1.2-22 に示すとおりであり現場 CBR 試験における強度増加は、盛り立て後約 2 ヶ月後において 2~5 倍の値を示すが、それ以降若干の強度低下がみられるものも散見されるが強度はほぼ横ばいで推移している。

表 1.2-21 現場 CBR 試験結果

	現場 CBR (%)				
	10/30(造成時)	12/12	1/30	7/24	10/7
TD	2.1	11.8	12.1	10.3	10.5
TR	10.5	21.6	23.7	19.4	21.3
TC	4.2	14.9	15.1	11.6	13.1
TS	6.4	20.9	21.7	12.5	13.6
TP	5.9	13.7	14.3	11.1	11.7



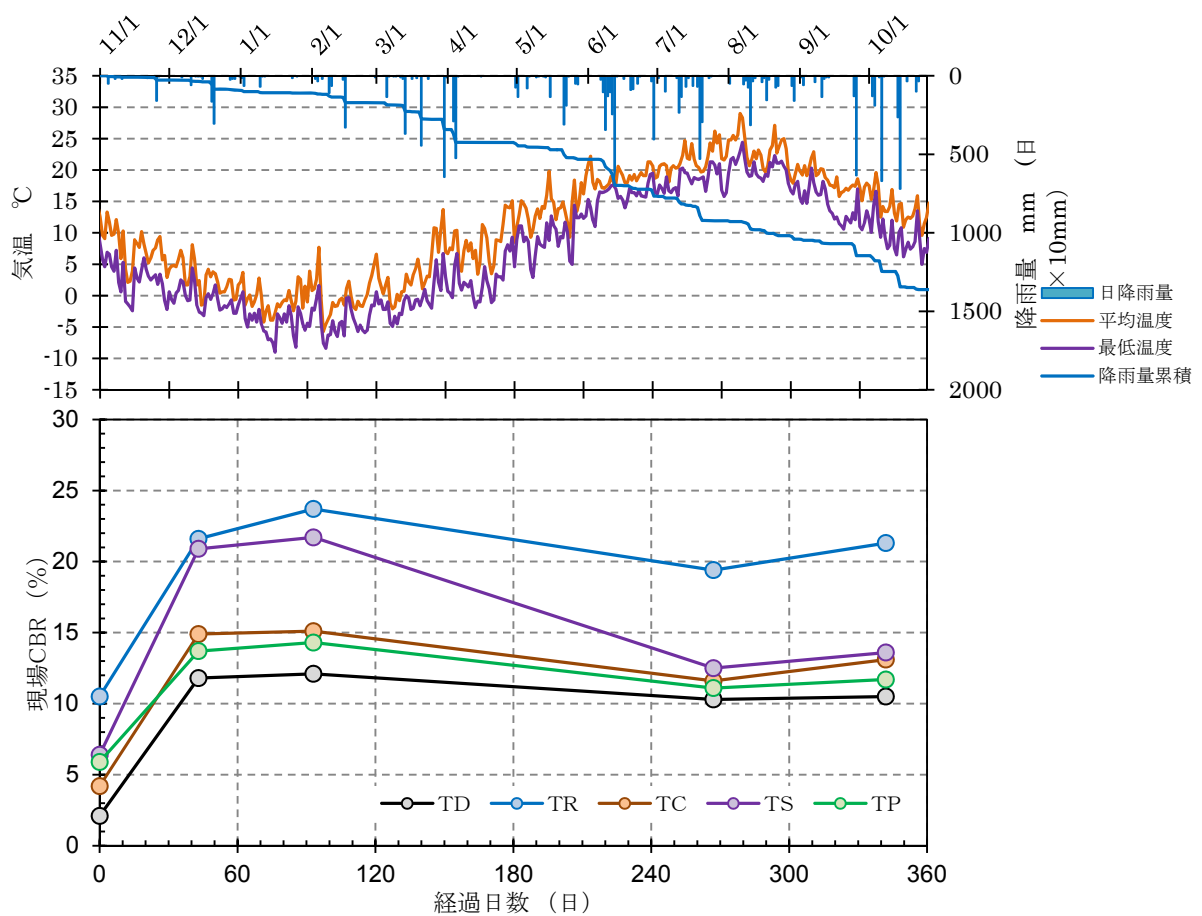


図 1.2-22 現場 CBR モニタリング

(f) pH

盛土内部の土壌に対する pH は軽度な土羽打ち法面に対して表層・GL-0.1m・GL-0.3m から採取した試料にたいして行った。計測結果は図 1.2-23 に示すとおりであり、何れの実証盛土も造成直後はアルカリ性を示したが経過とともに pH は低下し、TP 盛土の表層より 10cm 以深の以外は中性域に達した。

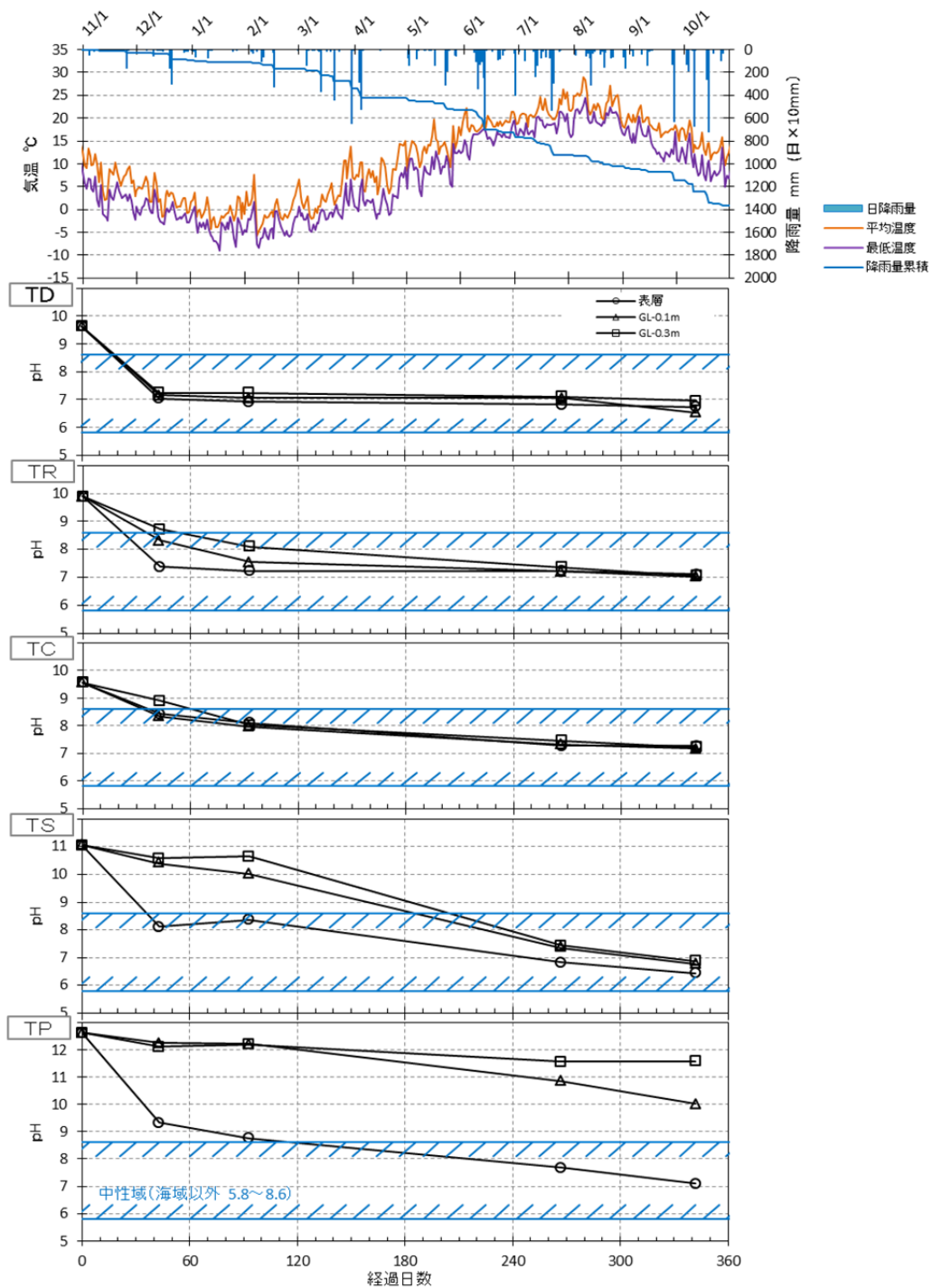


図 1.2-23 pH の経時変化

(g) 浸出水の水質

実証盛土に設けた底設暗渠パイプに貯留タンクを連結させ採水した水の水質分析を平成 15 年 3 月 6 日環境省告示第 17 号に準拠し実施した。分析結果は表 1.2-22 に示すとおりであり、盛立 2 ヶ月後に採水した水から土壤汚染対策法の地下水基準を上回る砒素の溶出が認められたが、それ以降基準を上回る砒素の溶出は検出されていない。実証盛土で使用した材料は、溶出試験による



土壌環境基準を満足したものを使用している。この試験は土に水を 10 倍量（重量比）加えて溶かし出す試験であり、盛土などの実際の条件では、盛土直後に 10 倍量の水が一度に供給される可能性は低く、盛土構築初期の段階で溶出してくる物質の場合、1 倍量の雨水の浸透では 10 倍の濃度で溶出する可能性もあると考えられる。その後、地下へ浸透後に希釈や吸着などの影響を受けるので溶出量は低下する傾向にあると想定されるので、今回のようなモニタリングのように暗渠等に集水される水等では、環境行政上の目標値である地下水環境基準ではなく、排水基準を管理値として運用するのが適当であると考えられる。今回のような現場でのデータを積み重ねることによって、室内試験で得られた数値と現場との照合が進み、溶出試験の解釈が進み、また試験法自体の改良・改善にもつながるものと考えている。各位のご理解とご協力により、貴重なデータが得られたことに感謝したい。

また、2014/10/8 の採水の水質分析からは TR 盛土と TC 盛土においてほう素の溶出量が環境基準を上回る値が計測された。この値は、それまで測定されたの 10 倍近い値であり、海水の混入による可能性が考えられたので塩化物イオンの分析を行うとともに再分析を行うため 2014/10/25 に採水し、あわせて実証盛土から採取して土の溶出試験を行った。実証盛土は津波堆積物由来である材料による盛土であることから、塩化物イオンの値は相対的に一般の土壌と比べて高い値を示すが、塩化物イオンと相関性の高い電気伝導率の推移から判断して 2014/10/8 の採水に海水が混入した可能性は極めて低いものと判断される。また、再分析においても同様な結果が得られており、TR 盛土と TC 盛土で突発的にほう素の溶出が上昇する結果となっている。ただし、実証盛土から採取した土のほう素の溶出試験結果は表 1.2-23 に示すとおり環境基準値を満足する結果となっている。この現象については、さらに実験・実測データを集積し議論すべき課題であると考えられる。

pH は低下する傾向にあり、TP 盛土を除き指標基準値を満足する。電気伝導率、有機体炭素については何れの材料も指標基準値を上回っているが指標値に近づく傾向にあり、経年変化とともに指標値を満足することが期待される。

表 1.2-22 採取水の分析結果

分析項目名	単位	土壌汚染対策法 地下水基準	TD						TR					
			2013/10/30	2013/12/12	2014/1/30	2014/8/26	2014/10/8	2014/10/25	2013/10/30	2013/12/12	2014/1/30	2014/8/26	2014/10/8	2014/10/25
			土壌 溶出試験	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	土壌 溶出試験	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時
カドミウム	mg/L	0.01以下	0.001	浸 出水 不足	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	-	0.001未満	浸 出水 不足	0.0005	0.0003未満	0.0003未満	-
鉛	mg/L	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-
六価クロム化合物	mg/L	0.05以下	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	-	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	-
砒素	mg/L	0.01以下	0.009	0.006	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-	0.009	0.010	0.005未満	0.005未満	0.005	-
水銀	mg/L	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	-	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	-
セレン	mg/L	0.01以下	0.002未満	0.002	0.002未満	0.002未満	0.002未満	-	0.002未満	0.004	0.002未満	0.002未満	0.002未満	-
ふっ素	mg/L	0.8以下	0.14	0.09	0.21	0.22	-	0.39	0.21	0.21	0.28	-	-	
ほう素	mg/L	1以下	0.13	0.27	0.17	1.0	0.51	0.04	0.13	0.15	1.6	1.5	-	
水素イオン濃度	-	5.8~8.6 (排水基準) 6.0~7.5 (農業用水基準)	9.6	6.9(23°C)	7.6(23°C)	7.3(23°C)	-	9.9	6.9(23°C)	7.6(22°C)	7.3(23°C)	-	-	
電気伝導率	mS/m	30mS/m以下 (農業用水基準)	-	690	170	350	-	-	690	170	500	-	-	
有機体炭素(TOC)	mg/L	3以下 (水道水質基準)	-	120	9	35	-	-	180	13	85	-	-	
塩化物イオン	mg/L	200mg/L以下 (水道水質基準)	-	-	-	286	-	-	-	-	520	-	-	

分析項目名	単位	土壌汚染対策法 地下水基準	TC						TS					
			2013/10/30	2013/12/12	2014/1/30	2014/8/26	2014/10/8	2014/10/25	2013/10/30	2013/12/12	2014/1/30	2014/8/26	2014/10/8	2014/10/25
			土壌 溶出試験	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	土壌 溶出試験	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時
カドミウム	mg/L	0.01以下	0.001未満	0.0006	0.0005	0.0003未満	0.0003未満	-	0.001未満	0.0003未満	0.0005	0.0003未満	0.0003未満	-
鉛	mg/L	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-
六価クロム化合物	mg/L	0.05以下	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	-	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	-
砒素	mg/L	0.01以下	0.009	0.011	0.007	0.005	0.005未満	-	0.009	0.016	0.005	0.005未満	0.005未満	-
水銀	mg/L	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	-	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	-
セレン	mg/L	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.004	0.002未満	0.002未満	-	0.002未満	0.002未満	0.006	0.002未満	0.002未満	-
ふっ素	mg/L	0.8以下	0.15	0.08未満	0.08	0.13	0.16	-	0.39	0.08未満	0.05	0.13	0.23	
ほう素	mg/L	1以下	0.16	0.21	0.21	0.13	1.2	1.3	0.04	0.10	0.05	0.16	0.35	
水素イオン濃度	-	5.8~8.6 (排水基準) 6.0~7.5 (農業用水基準)	9.6	6.9(20°C)	6.8(23°C)	7.8(22°C)	7.5(23°C)	-	11.1	7.1(19°C)	7.0(23°C)	7.6(23°C)	7.2(23°C)	
電気伝導率	mS/m	30mS/m以下 (農業用水基準)	-	660	690	140	340	-	790	910	180	370	-	
有機体炭素(TOC)	mg/L	3以下 (水道水質基準)	-	150	170	11	42	-	350	360	19	48	-	
塩化物イオン	mg/L	200mg/L以下 (水道水質基準)	-	-	-	227	-	-	-	-	539	-	-	

分析項目名	単位	土壌汚染対策法 地下水基準	TP					
			2013/10/30	2013/12/12	2014/1/30	2014/8/26	2014/10/8	2014/10/25
			土壌 溶出試験	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時	採水 底設置時
カドミウム	mg/L	0.01以下	0.001未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	-
鉛	mg/L	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	-
六価クロム化合物	mg/L	0.05以下	0.01未満	0.02	0.01未満	0.01未満	0.01未満	-
砒素	mg/L	0.01以下	0.005	0.007	0.006	0.006	0.005未満	-
水銀	mg/L	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	-
セレン	mg/L	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.004	0.003	0.002未満	-
ふっ素	mg/L	0.8以下	1.4	0.08未満	0.07	0.14	0.27	-
ほう素	mg/L	1以下	0.02	0.04	0.04	0.37	0.49	0.29
水素イオン濃度	-	5.8~8.6 (排水基準) 6.0~7.5 (農業用水基準)	12.6	11.6(20°C)	9.0(21°C)	7.5(22°C)	7.5(22°C)	-
電気伝導率	mS/m	30mS/m以下 (農業用水基準)	-	650	490	600	240	-
有機体炭素(TOC)	mg/L	3以下 (水道水質基準)	-	430	310	120	10	-
塩化物イオン	mg/L	200mg/L以下 (水道水質基準)	-	-	-	436	-	-

表 1.2-23 ほう素の溶出試験結果 (2014/10/25 採取試料)

分析項目	単位	土壌汚染対策法 地下水基準	TD	TR	TC	TS	TP
ほう素	mg/L	1以下	0.28	0.21	0.34	0.21	0.02

### 5) 実証盛土の撤去

実証盛土の撤去工事を平成26年10月に実施した。撤去した分別土砂は、図1.2-24及び写真1.2-5に示すとおり実証盛土造成区域近傍の低地の埋戻し材料として活用した。各分別土砂の埋戻しはエリア割りを行い、必要に応じて環境調査等のモニタリングが行えるよう配慮した。実証盛土の撤去と分別土砂の埋戻し状況を写真1.2-6に示す。

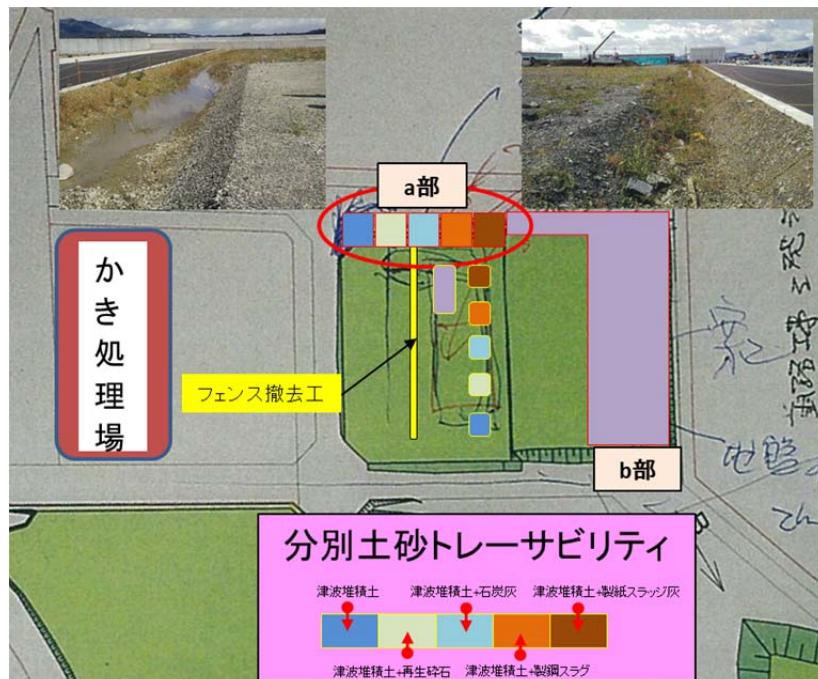


図 1.2-14 処理土の盛土エリア



写真 1.2-5 埋戻し部の状況

	<p>1) ヤード掘削</p>		<p>4) 整地 (狭小部)</p> <p>撒き出した分別土砂を平滑に整地する。 (t=30cm)</p>
	<p>2) 積込・運搬</p>		<p>5) 整地 (一般部)</p>
	<p>3) 撒出し</p> <p>A部にエリア割りし、分別して撒出す。</p>		<p>6) 転圧</p> <p>各層毎にブルドーザにより転圧する。</p>

写真 1.2-6 実証盛土の撤去と分別土砂の埋戻し状況

## 6) まとめ

復興資材として津波堆積物由来の分別土砂、ならびに循環資材として製鋼スラグやコンクリート再生砕石を用いた実証盛土試験を行った。本試験結果から、分別土砂の地盤材料特性を把握することができた。今後の課題として、環境安全性に関してバッチ試験と実証盛土試験の結果の相違を説明できる知見の蓄積が必要である。

### **(3) 災害廃棄物から再生された復興資材を有効活用するための提言ならびにガイドライン制定の取り組み**

#### **1) はじめに**

被災地では復興に関わる多くの社会基盤整備事業が進められており、相当量の土砂が必要とされている。そこでこの一部を賄うために、災害廃棄物や津波堆積物の混合物から土砂を土砂以外の材料と分離し、新しい「復興資材」という材料として有効活用が試みられている。このような復興資材の有効活用は、最終処分される廃棄物の量や自然改変を伴い調達される土砂の量を減らせることから、環境負荷低減や社会便益等の観点においても、大震災からの復旧・復興における地盤工学の重要な貢献である。しかしながら、復興資材は新しい土木資材であるため、その一部は、土構造物としての性能確保や環境安全性の懸念などから有効活用が躊躇され、利用用途の確保が課題となった。

そこで上記の課題解決にあたるべく、2013年9月に「災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する提言検討委員会」（略称：復興資材提言委員会、委員長：京都大学 勝見武教授）を公益社団法人地盤工学会に設置し、2014年12月まで、計6回の委員会にて検討を重ね、以下の成果物を発表した<sup>1)</sup>。

- 災害からの復興における社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する提言・解説
- 災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン

#### **2) 復興資材提言委員会の活動スキーム**

復興資材提言委員会の活動スキームを図 1.2-25 に示す。2013年度、当研究所で実施した「災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する調査」の成果に基づき、復興資材の有効活用推進に資するための提言等を取りまとめることとした。

委員は、震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム（代表：久田真 東北大学教授）の他、地盤工学会 東日本大震災地盤環境研究委員会（京都大学 勝見武教授）、地盤工学会 21世紀の新しい地盤環境問題とその解決方策に関する研究委員会（委員長：福岡大学 佐藤研一教授）から選出した11名の委員で構成した（表 1.2-24）。さらに、岩手県、宮城県、福島県、復興庁、農林水産省、国土交通省、環境省ほか関係機関・団体からのオブザーバー参画、情報提供、調査協力、助言等を得た。準備会合を含めて合計7回開催された委員会は、毎回30名前後の委員ならびにオブザーバーの出席を得て、様々な立場からの意見交換が活発に行われた。また、メールによる意見聴取においても極めて多くの意見が寄せられた。



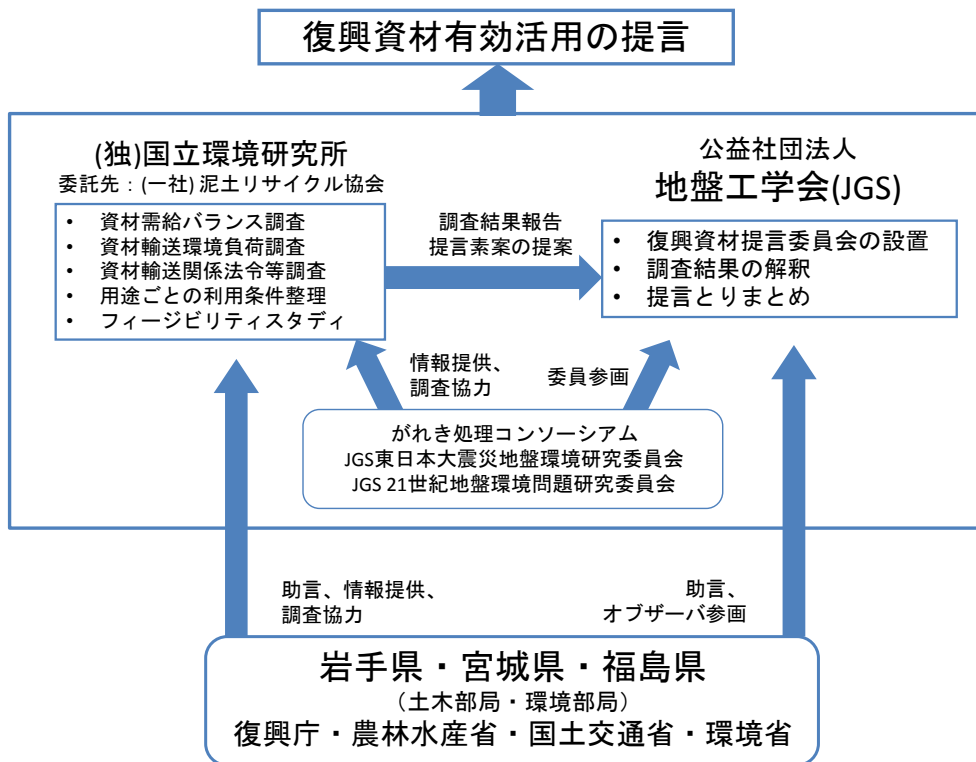


図 1.2-25 復興資材提言委員会の活動スキーム

表 1.2-24 復興資材提言委員会の構成

委員 (敬称略)	委員所属
○勝見 武 (委員長)	京都大学
今西 肇	東北工業大学
大河原正文	岩手大学
大嶺 聖	長崎大学
風間 基樹	東北大学
菊池 喜昭	東京理科大学
○阪本 廣行	(株) フジタ
佐藤 研一	福岡大学
○鈴木 弘明	日本工営 (株)
○中島 誠	国際環境ソリューションズ (株)
久田 真	東北大学
○保高 徹生	(独) 産業技術総合研究所
オブザーバー	
岩手県土木整備部、岩手県環境生活部、 宮城県土木部、宮城県環境生活部、 福島県土木部、福島県生活環境部、 復興庁、国土交通省、環境省、農林水産省、 リサイクルポータル推進協議会、 ○ (独) 国立環境研究所 (委託元)	
事務局	
(公社) 地盤工学会、○ (一社) 泥土リサイクル協会	

○：ガイドライン編集部会メンバー

### 3) 災害からの復興における社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する提言

提言は、①「本提言の前提」、②「社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する基本方針」、③「基本方針の実現を目指すために必要な取り組み」の3部から構成した。①で建設リサイクルをはじめとする循環型社会構築に向けてこれまでの取り組みを継承することの必要性、分別土砂の特性の観点からみた東日本大震災の災害廃棄物処理の実情、復興における資材確保の必要性といった「前提」を示した上で、②基本方針として、(1) 強靱な社会基盤の整備、(2) 復興資材等の利用の推進、(3) 複数事業の総和としての最適化を目指す取り組み、の3点を掲げた。そして③基本方針の実現に向けて、(1) 復興資材等の利用を促進する枠組・制度の整備が必要なこと、(2) 強靱で環境安全な土構造物を構築するためにガイドラインの整備を行うこと、(3) より高次な「資材マネジメント」の実施が必要なこと、(4) 啓発活動と継承のための活動を行うこと、を提示した。

提言の全文を表 1.2-25 に示す。提言は文のみとし、この内容を説明するための A4 版 16 ページから成る「解説」を同時に作成した<sup>1)</sup>。解説では、先述の委託調査で行われた復興資材等の利用に際しての環境負荷の計算例(図 1.2-26)や複数事業の総和として資材利用の最適化を図ること(図 1.2-27)などの概念がわかりやすく示されている。

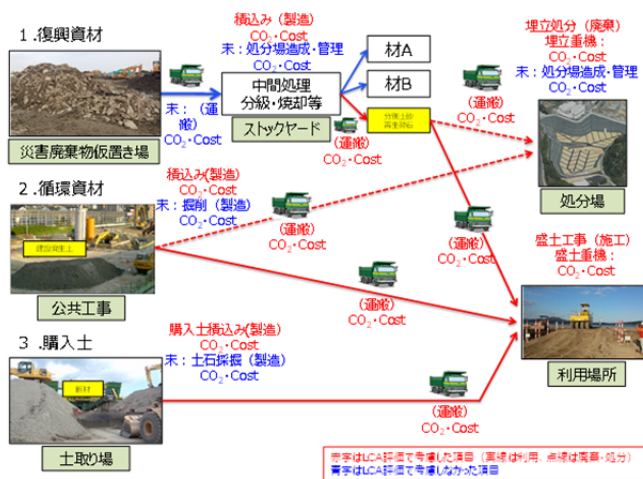


図 1.2-26 環境負荷計算の条件  
(提言解説より抜粋)

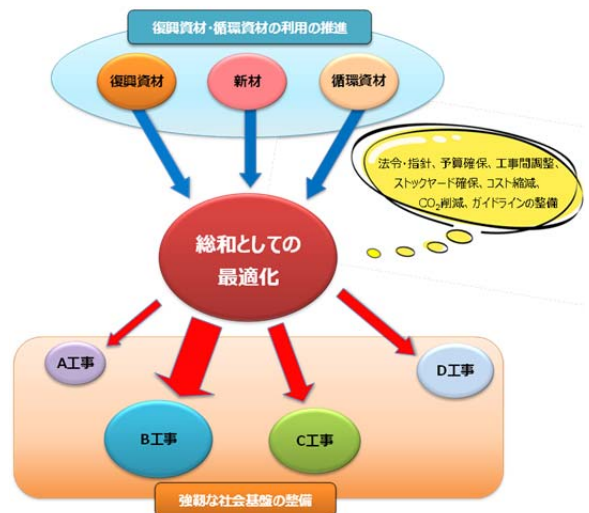


図 1.2-27 「総和としての最適化」  
(提言解説より抜粋)



表 1. 2-25 提言の全文<sup>1)</sup>

2014年3月28日

災害からの復興における社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する提言

**はじめに**

本提言は、(公社)地盤工学会「災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する提言検討委員会(以下、復興資材提言委員会)」において、岩手県、宮城県、福島県、復興庁、農林水産省、国土交通省、環境省ほか関係機関・団体からの情報提供、調査協力、助言等のもと、とりまとめたものである。

**本提言の前提**

- 我が国は循環型社会の構築に向け、廃棄物の発生抑制、廃棄物・副産物の有効利用の推進、最終処分量の低減に取り組んできた。社会基盤整備の分野においても「建設リサイクル」として、副産物の発生抑制・有効利用促進・処分量低減に取り組んできた。
- 2011年東北地方太平洋沖地震と大津波で大量に発生した災害廃棄物(津波堆積物を含む)の約3分の1(重量比)は、「土砂」である。関連する諸機関の様々な取り組みにより、これらの土砂は廃棄物と適切に分離・選別され、その多くは通常の土砂と同レベルの品質を有する「分別土砂」として再生されている。また、災害廃棄物の約3分の1(重量比)は「コンクリートがら」であり、適切に処理することによって「再生砕石」等の資材とすることができる。
- 災害復興のための社会基盤整備事業では多量の資材を必要とする。その資材として新材を使うことは、土取り場開発による新たな自然改変などの環境影響をもたらすことにつながる。一方、災害廃棄物を処理して得られた分別土砂等の利用にあたっては、新たな取り組みとしての理解が必要である。
- 東日本大震災における災害廃棄物処理と復興資材利用の取り組みは世界的にも初めてのものであり、将来起こる災害においても参考とすべきものであることが求められる。

**社会基盤整備への復興資材等の利用のあり方に関する基本方針**

**(1) 強靱な社会基盤の整備**

東日本大震災からの復興に関して現在多くの社会基盤整備事業が実施されているが、これらの事業では、今後再び来るであろう災害への備えも考慮し、将来世代への負担を減らすためにも、安全で品質の良い強靱な社会基盤を残していく必要がある。

**(2) 復興資材等の利用の推進**

社会基盤整備事業そのものが環境負荷を生じうることに鑑み、可能な限り環境負荷を少なくする取り組みが求められる。そのために、「分別土砂」や「コンクリート再生砕石」などの災害廃棄物を処理した材料(復興過程から産み出された資材であることも踏まえ、これらを「復興資材」と呼ぶ)や、発生土や産業副産物などの循環資材を積極的に利用することが推奨される。また、資材の運搬等による環境負荷も考慮し、地産地消を進めることが推奨される。

**(3) 複数事業の総和としての最適化を目指す取り組み**

復興のための社会基盤整備事業は様々な事業主体により行われている。一方、復興資材の製造や発生土・副産物の発生も、異なる事業主体によって行われている。それぞれ個別の事業の最適化を目指すだけでなく、地域で行われている複数の事業の「総和としての最適化」を目指す取り組みが必要である。

## **基本方針の実現を目指すために必要な取り組み**

### **(1) 復興資材等の利用を促進する枠組・制度の整備**

- 復興事業を個別にみれば、必要な資材の調達で購入土で対応できれば、再生資材や副産物の活用は躊躇されるのは当然である。しかし、復興資材提言委員会が示すように、分別土砂などの再生資材や副産物を復興事業の材料として優先的に有効利用することは、処分場の容量消費の抑制や新材利用による環境負荷増大等の観点から重要である。そのため、例えば国土交通省が経済性には関わらず可能な範囲で積極的に再生資源の利用を促進するために「リサイクル原則化ルール」として直轄工事を対象に定めているように、「復興資材利用原則化ルール」を制定するなどの枠組みが必要である。
- 復興資材の活用にあたっては、経済支援も含めたストックヤードの整備や運搬費用の負担の問題などをクリアする必要がある、関連する諸機関が連携して制度の整備に取り組むことが求められる。

### **(2) 強靱で環境安全な土構造物の構築**

- 災害廃棄物からの「分別土砂」は地域によって、そして処理の方式によって様々あることがわかっている。また、土砂の中には、自然由来の重金属等を含むものも存在することがある。これらのことに鑑み、地盤工学特性と環境安全性の観点に基づく利用用途に応じた合理的な品質基準に依拠して有効利用を推進する。復興資材等の品質管理のための基準や設計施工を行う上でのガイドラインやマニュアルの整備は重要である。

### **(3) 高次な「資材マネジメント」の実施**

- 個々の事業のレベルではなく、地域全体のマテリアルバランスと環境負荷を考慮した資材の割当のためのマネジメントが求められる。これには行政・事業主体間の連携が重要で、ときには管轄・所掌を超えた取り組みも求められよう。必要があればそのための事業主体を立ち上げることも考えられる。
- この資材マネジメントが適切に行われているかを評価するための第三者機関の参画も有効と考えられる。

### **(4) 啓発活動と継承**

- 復興資材の利用を促進するための啓発活動に取り組むことが必要である。具体的には、「分別土砂」の特性と有効利用可能性への正しい理解が普及されるよう努める。言葉の定義も重要で、「災害廃棄物」や「コンクリートくず」という呼び名は、これらの材料のそもそもの成り立ちと特性を考え資材としての有効利用を推し進めるにあたって望ましくなく、災害廃棄物から再生された復興資材の正しい理解のための取り組みを続ける必要がある。
- 将来の災害への備えも踏まえ、ここで提示する取り組みとそれにより産み出される知見を継承するための必要な情報を、国として記録を保存・活用し、未来に伝達する。

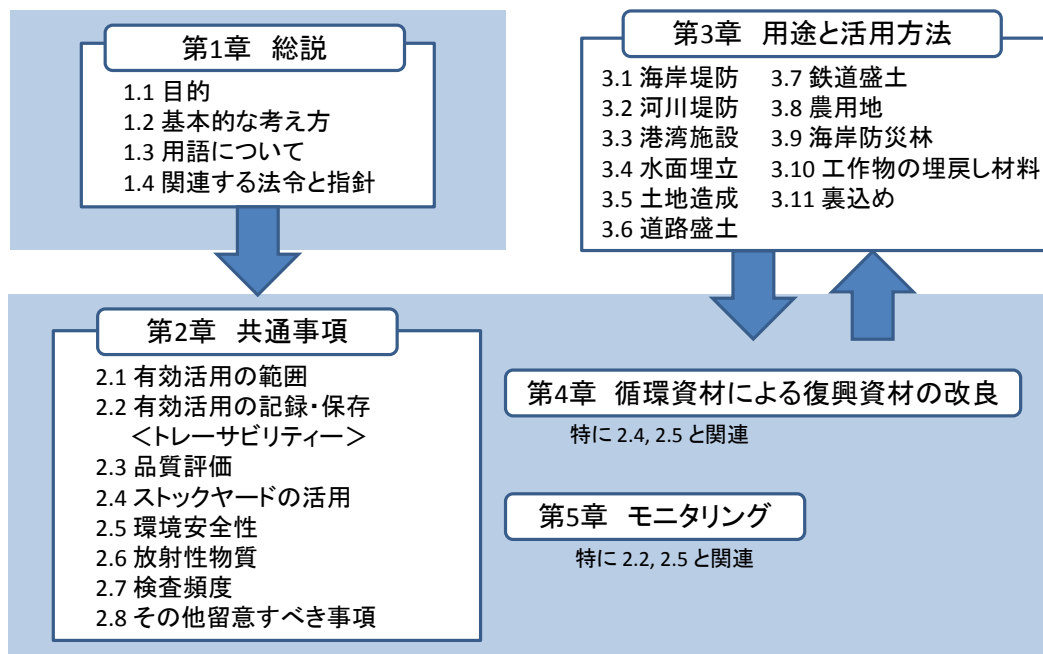


図 1.2-28 ガイドラインの構成

#### 4) 災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン

##### (a) 目的と構成

復興に向けた社会基盤整備事業では、環境負荷に配慮しながら安全で品質の良い強靱な社会基盤を残していく必要がある。一方、災害廃棄物等（津波堆積物を含む）から再生した復興資材は、地域によって、そして処理の方式によって様々であり、また、自然由来の重金属を含むものも存在する。このため復興資材提言委員会は「復興資材等の品質管理のための基準や設計施工を行う上でのガイドラインやマニュアルの整備は重要である。」との立場から、復興資材等の利用に関して、地盤工学特性と環境安全性の観点に基づく利用用途に応じた合理的な品質基準に依拠して有効利用を推進することを目的とし、品質管理や設計施工を行うためのガイドラインを整備した。本ガイドラインは、地盤材料として用いられる復興資材のうち、特に分別土砂により力点をおいている。また、用語の定義の重要性や、環境リスクを考慮した有効利用と管理のあり方についても、若干踏み込んだ記述をしている。

図 1.2-28 にガイドラインの構成を示す。第 1 章では本ガイドラインの基本的な考え方、用語、関連する法律等の基本事項を示した。第 2 章では復興資材を様々な用途へ有効活用する際の範囲、記録・保存、品質評価等の共通事項を示した。第 3 章では用途と活用方法を参考とすべき技術指針とともに示した。第 4 章と第 5 章は共通事項から特出しして、循環資材による改良とモニタリングの考え方をそれぞれ示した。以下にガイドラインの内容の一部を紹介する。

##### (b) 復興資材の位置づけ (1.3 節)

ガイドライン 1.3 節では、用語について整理を行った。用語の正しい使用は、多くの関係者と認識を共有するために極めて重要である。図 1.2-29 は様々な用語の中での復興資材の位置づけを整理したものである。ガイドラインでは、復興資材はコンクリート再生砕石、災害廃棄物から再

生された分別土砂、津波堆積物由来の分別土砂、および、津波堆積土から構成されることとした。  
 本ガイドラインでは分別土砂を公共工事等の資材として活用することを提案している（2.1 節）が、自然的原因により基準をわずかに超過する分別土砂も含むため、そのような分別土砂の利用にあたっては厳格な管理が必要となる（2.2 節、第 5 章：後述）。

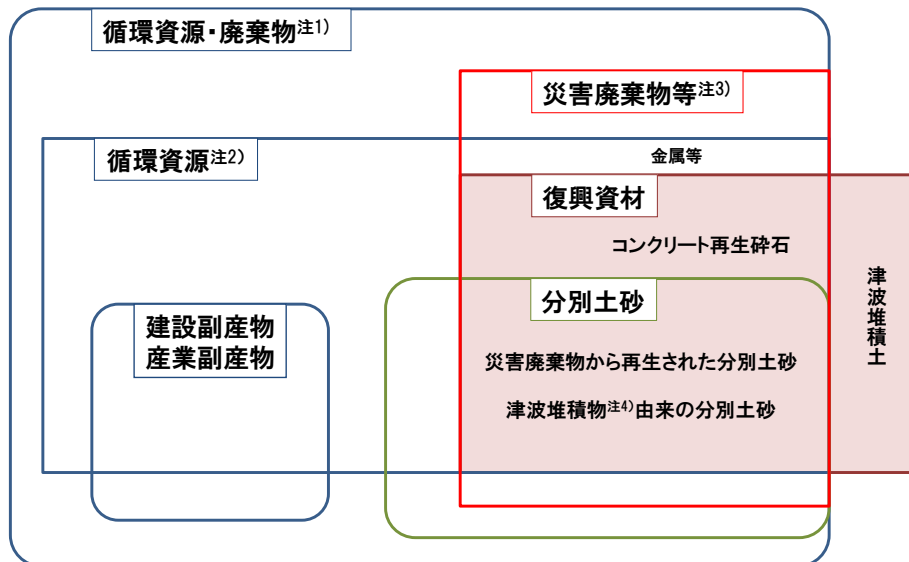


図 1.2-29 復興資材の位置づけ

注 1) 循環型社会形成推進基本法という「廃棄物等」と同義である。循環型社会形成推進基本法：  
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12HO110.html>

注 2) 循環資源のうち、建設資材として利用可能なものを「循環資材」という。「循環資材」は、本ガイドラインで定義している。

注 3) 災害廃棄物および津波堆積物（注 4)参照）をいう。

注 4) 津波堆積物処理指針(<http://www.env.go.jp/jishin/attach/sisin110713.pdf>)の定義による。

### (c) 用途と活用方法（第 3 章）

ガイドライン第 3 章では、復興資材の用途と活用方法を図 1.2-28 の図中に示す 11 種類の用途に整理した。各用途における要求品質は、既存のガイドラインやマニュアルを引用してとりまとめしており、本ガイドラインは、様々な地盤材料の要求品質に関する情報が一覧できる点においても価値があるものと思われる。例えば、盛土としての利用であっても表面がコンクリート二次製品等で被覆される場合、河川水に常時接する場合、繰り返し荷重を受ける場合などで、用途ごとの要求品質は異なってくる。さらに、農用地や海岸防災林への利用では土木構造物とは異なり塩や pH が重要となる。なお環境安全性については共通事項として、本ガイドライン 2.5 節を参照すること、とした。

### (d) 環境安全性（2.5 節、第 5 章）

ガイドライン 2.5 節では環境安全性に関する考え方を整理した。復興資材のうち特に分別土砂は、「土壌の汚染に係る環境基準」（土壌環境基準）と、「土壌汚染対策法」の汚染状態に関する基準が重要となる。

土壌環境基準（表 1.2-26）は政府が定める環境保全行政上の目標基準である。カドミウム、鉛、六価クロム、砒（ひ）素、総水銀、セレン、ふっ素およびほう素は、土壌が地下水から離れており、かつ、原状において当該地下水中のこれら物質の濃度が地下水環境基準の値を超えていない場合には、3倍相当の基準値（3倍値基準）を適用できるものとしている。なお、3倍値基準の適用は「原状において」の制約条件があり、盛土等に適用された事例はない。また、「原状において」は盛土等への利用後の状態を指すことになるため、盛土等への利用のためには、「地下水から離れており」の状態を担保する必要がある。方法としては、地下水位の上昇を防止する施工方法および構造とすること、あるいは盛土等に利用する範囲が地下水から離れた状態であることを、施工中ならびに施工後のモニタリングで確認すること等が考えられる。ガイドラインでは3倍値基準を適用した千葉県建設発生土管理基準の事例を紹介した。

**表1.2-26 土壌環境基準（重金属等（全シアンを除く。）を抜粋）**

基準項目	環境上の条件（環境基準）	
		地下水から離れて、かつ原状において地下水が汚染されていない土壌
カドミウム <sup>注1)</sup>	0.01 mg/L以下	0.03 mg/L以下
鉛	0.01 mg/L以下	0.03 mg/L以下
六価クロム	0.05 mg/L以下	0.15 mg/L以下
砒（ひ）素	0.01 mg/L以下	0.03 mg/L以下
総水銀	0.0005 mg/L以下	0.0015 mg/L以下
アルキル水銀	検出されないこと	
セレン	0.01 mg/L以下	0.03 mg/L以下
ふっ素	0.8 mg/L以下	2.4 mg/L 以下
ほう素	1 mg/L以下	3 mg/L 以下

注1) カドミウムについては、地下水の水質汚濁に係る環境基準が平成23年10月27日に"0.003 mg/L以下"に見直されており、土壌の環境基準等の見直しについて現在諮問されているところである。

土壌汚染対策法は汚染状態に関するいわゆる規制基準として溶出量基準と含有量基準を定めている（さらに、対策の内容に関連するものとして地下水基準と第二溶出量基準を定めている）。溶出量基準は、土壌環境基準と同値となっている。このため、復興資材の利用に際して、土壌環境基準における3倍値基準を含め、土壌溶出量基準以上の値で運用する場合は、将来の形質変更の可能性を考慮し、土壌汚染対策法における取扱いに留意する必要がある。土壌含有量基準は、直接摂取の曝露経路であることから、覆土等の対策をした上で活用をすることも考えられる。

分別土砂は沿岸域等での活用が多く見込まれることから、沿岸域等での活用が明確な場合についても整理した。

まず、海面埋立に利用する場合は、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律第一条で定められている水底土砂に係る判定基準に適合するものであることが求められており、水底土砂の埋立ての場所等に係る土壌であって埋立て終了後も同法に基づく護岸、外周仕切施設等により一般環境（周辺の土壌）から区別されているものは土壌環境基準の適用対象とならないこととされている（平成3年8月28日付け環水土第116号環境庁水質保全局長通知）。一方、埋立後に陸地化され、一般環境と区別されない場合は、土壌環境基準は適用される。沿岸域での利用におけるふ

っ素・ほう素の取扱いは下記のとおりである。なお、埋立後の土地改変においては土壤汚染対策法が適用される可能性がある。

土壤環境基準における海水由来と考えられるふっ素とほう素の取扱いについては、平成13年3月28日付け環水土第44号環境省環境管理局水環境部長通知に、「人為的な影響と自然的な影響の寄与度等については個別の事例ごとに異なるものと考えられ、人為的な影響と自然的な影響を区別して評価した上で、個別の事例ごとに判断する必要がある」とされている。「海水の影響を受けていると考えられる土壤については、もっぱら自然的原因によるものとして一律に土壤環境基準の適用外とすることは、適用外とする土壤の範囲の特定を含めて非常に困難」であり、「汚染原因や周辺地下水への影響等を個別の事例ごとに総合的に評価して、土壤環境基準の適用の是非等を判断するものとする」とされている。

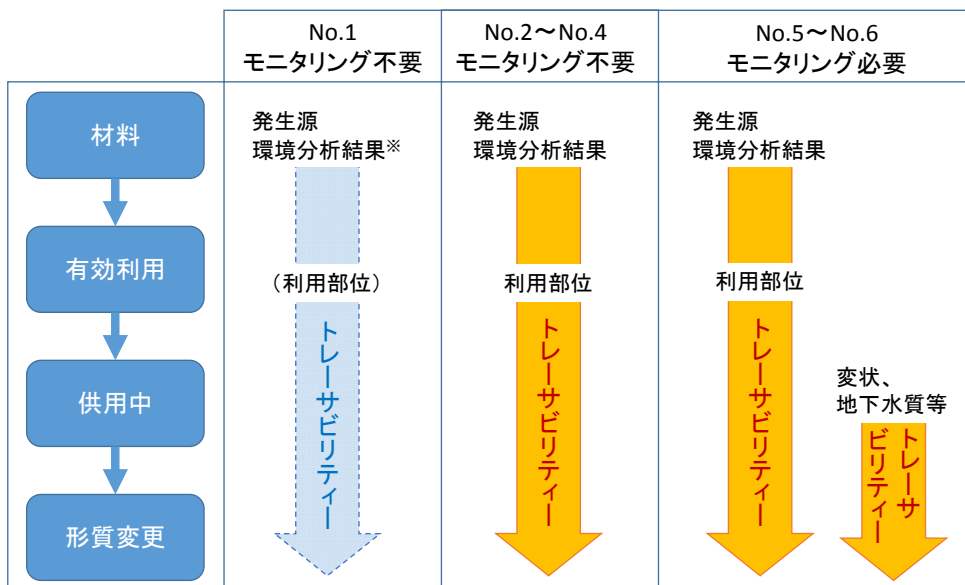
### (e) モニタリングとトレーサビリティ (2.2節、5章)

「復興資材」は新しい材料であるので、信頼確保のためにもモニタリングの実行とトレーサビリティの確保を基本とすることが望ましい。トレーサビリティ確保のためには、「復興資材」の種類に関する情報、利用範囲、品質管理記録、工事記録等を書類として整理し、適切に管理することが必要である。工事発注者は、受領した当該書類を台帳等として整理して必要な期間保存し、台帳等を必要に応じて第三者に公開する。このうち「復興資材」の種類に関する情報としては、復興資材の種類と量、復興資材の中間処理等が行われた場所、中間処理等が行われる前に災害廃棄物として仮置きされていた場所、「廃棄物に該当しないもの」の要件を満たすことを示す根拠、が挙げられる。「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生材の活用について」<sup>3)</sup>では、「廃棄物に該当しないものの要件を満たすことを示す書類として①分別または中間処理の方法を記載した書類、②測定会社等が発行する検査証明書等（濃度計量証明書、土質試験データシートが該当する）異物混入の有無の記録（目視確認の記録）、③当該物を資材として活用する公共工事の設計図書、④公共工事の名称および施工場所を記載した書類、⑤当該物の品質が要求条件を満たすことが確認できる書類（設計図書）、⑥記録および保存方法を記載した書類、を定めている。

表 1.2-27 復興資材を有効利用する場合の、有害物質による環境影響に関する  
モニタリングの考え方

No.	材料履歴と環境分析結果				利用先制限	施工後 モニタリング <sup>注)</sup>
	分別処理前 分析	他の材料との混 合	分別土砂の 改質	分別・改質 処理後分析		
1	基準適合	無	無	基準適合	制限なし	不要
2	基準適合	無	無	分析なし	制限なし	不要
3	実施の有無を問 わない	有	無	基準適合	制限なし	不要
4	実施の有無を問 わない	有	有 不溶化を目的としな い改質－石膏や石灰 等－に限る	基準適合	制限なし	不要
5	基準超過	実施の有無を問 わない	有 不溶化を目的とした 改質－キレート処理 等－を含む	基準適合	制限なし	「緩やかなリスク管理 (レベル1)」の考え方 でモニタリングを実施
6	基準超過／基準 適合が確認でき ていないもの	実施の有無を問 わない	実施の有無を問 わない	基準超過／基準適 合が確認できてい ないもの	制限あり	「厳格なリスク管理 (レベル2)」の考え方 でモニタリングを実施

注) 有効利用後に環境安全性が継続して確保されていることの確認



※No.1については、環境安全性が確保されていることから、必ずしもトレーサビリティを確保する必要はない。なお、この場合においてもトレーサビリティを確保することにより、形質変更時の環境安全性に関する分析は不要となる。

図 1.2-30 復興資材の有効利用におけるトレーサビリティの考え方

環境安全性に関する基準超過した復興資材の有効活用にあたっては、「公共事業で」、「管理が継続され」、「地下水汚染が生じない状態が確認されている」ことによる、リスク管理が求められる。そこでガイドライン第5章では復興資材の環境安全性に着目して、リスク管理不要、緩やかなリスク管理（レベル1）、厳格なリスク管理（レベル2）の三つのレベルに整理し、それぞれに対するモニタリングとトレーサビリティの考え方を提案した。

モニタリング（表 1.2-27）に関しては、土壌分析の有無やタイミングと基準の適否、中間処理における添加材の有無等を指標とし、利用先の制限と施工後のモニタリングのレベルを示している。緩やかなリスク管理（レベル1）では、例えば、土壌汚染対策法における原位置不溶化措置完了の確認の考え方（地下水質の基準適合を2年間確認すること）等が準用できる。厳格なリスク管理（レベル2）としては、利用場所・環境に応じて求められる環境安全性に対して、地下水質等を継続してモニタリングすることが考えられる。

次にトレーサビリティ（図 1.2-30）については、ガイドライン 2.2 節で示した利用材料・利用部位等の記録に加えて、供用中の環境モニタリングの結果を反映させることとした。特に、表 1.2-27 中の No. 1 は処理前・処理後とも基準適合しているが、試験結果等を記録・保管することで将来の形質変更時における環境分析等が不要となることも踏まえ、材料としての記録を保存することが望ましい、とした。

なお、ここで示した考え方は、自然由来の重金属等によって土壌環境基準をわずかに超過する分別土砂等に適用することを想定しており、現状有姿や利用形態を勘案して適切な評価を行い、利用後の管理・保管・モニタリング方法を含めた有効活用の方法を考えることが重要である。

この他の視点として、分別土砂には木くず等の有機物・可燃物の残存の影響が考えられる。具体的には、材料がおかれた環境や木くずの混入率によっては木くずが分解し、沈下や汚水・ガス発生の可能性があるため、それによる環境影響の防止・監視を目的としてモニタリングを行う必



要のあることを述べている。モニタリング項目は施工時と施工後に分けて項目立てを行い、施工時は表流水、地下水質および大気・気象について、施工後は地下水とガスについて、モニタリングを行うこと、としている。

#### (f) 復興資材の循環資材による改良（第4章）

災害廃棄物等から再生された分別土砂の地盤材料特性に関しては、現在、多くの調査・研究が進められている。先述のフィージビリティスタディにおいても、分別土砂で盛土を構築する際に循環資材を混合することにより、地盤材料特性が向上することを確認し、その成果を復興資材提言委員会の基礎資料とした。その詳細はガイドラインの参考資料として掲載したので参照されたい<sup>2,4,5)</sup>。

循環資材とは、例えば表 1.2-28 に示す資材が挙げられ、用語としては、循環型社会形成推進基本法の規定する循環資源（廃棄物等のうち有用なもの）のうち、建設資材として利用可能なものをいう（ガイドライン 1.3 節）。ガイドライン第4章では、このような循環資材による復興資材の改良について述べている。最大の留意点として、循環資材には鉛やふっ素、ほう素等の重金属等を含んでいるものがあるので、(1) 循環資材単味での環境安全性と、(2) 復興資材に循環資材を混合した混合物としての環境安全性を確認する必要があることを指摘した。

**表 1.2-28 復興資材の改良が期待できる循環資材の例**

循環資材	期待される改良効果
コンクリート再生砕石	粒度調整等
石炭灰（フライアッシュ）	含水比調整等。ポゾラン反応を示す場合がある。
石炭灰（クリンカーアッシュ）	粒度調整等
高炉スラグ	粒度調整、ポゾラン反応等
製鋼スラグ	粒度調整等
フェロニッケルスラグ	粒度調整等
銅スラグ	粒度調整等
製紙スラッジ焼却灰	含水比調整等
廃石膏ボード	含水比調整、農用地土壌改質等
建設発生土	粒度調整等

#### 5) おわりに

本提言ならびにガイドラインは、東日本大震災からの復旧・復興に貢献するのはもちろんのこと、近未来の発生が避けられないであろう南海トラフ地震など他の災害への対応にも寄与しうる知見を与えるものである。

#### 参考文献

- 1) 災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する提言検討委員会（略称：復興資材提言委員会）ホームページ  
[https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1540&Itemid=148](https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1540&Itemid=148)
- 2) 国立環境研究所、泥土リサイクル協会（2014）災害からの復興における災害廃棄物、建設副産物及び産業副産物の有効利用のあり方に関する調査業務報告書

- 3) 東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生材の活用について（通知）（平成 24 年 5 月 25 日、環境省 環廃対発第 120525001 号、環廃産発第 120525001 号）
- 4) 野口真一、中村吉男、肴倉宏史、勝見武（2015）分別土砂と循環資材を原位置混合し生成した復興資材による試験盛土（第 1 報）、第 10 回環境地盤工学シンポジウム講演論文集（投稿中）
- 5) 中村吉男、小島淳一、野口真一、肴倉宏史、勝見武（2015）分別土砂と循環資材を原位置混合し生成した復興資材による試験盛土（第 2 報）、第 10 回環境地盤工学シンポジウム講演論文集（投稿中）

## 1.2.5 災害時の生活排水分散型処理システム構築

### (1) 災害対応浄化槽の構造・施工方法の確立

#### 1) はじめに

災害時、被災地のし尿処理の問題は電気、水道、通信などの基盤インフラの復旧と並んで極めて重要な課題である。環境省の調査によれば、東日本大震災における浄化槽被害は少なく、浄化槽が地震に強いことが改めて示された<sup>1)</sup>が、浄化槽本体あるいは管きよの破損により衛生的な処理が不能となり、汚水を排出することができない建築物もあった。汚水の排出ができなくなると水洗トイレが使用できない、台所等の衛生環境が低下する等、被災者の衛生環境の低下による肉体的および精神的な健康障害を生じることになる。従って、このような事態とならぬようにするためには、これまで以上に大規模な地震等の災害においても対応可能な浄化槽の開発・普及が重要であると考えられる。

そこで本研究では、東日本大震災における浄化槽の被害・復旧状況等を踏まえ、ハード面でのアプローチとして、浄化槽の耐震構造・施工方法に関する実験・調査研究を行い、耐震型浄化槽の構造・施工方法の確立および従来基準の無かった浄化槽の耐震評価基準の策定を目的として検討を実施している。これまで、東日本大震災において同一の型式で 10 施設以上調査された 22 型式（684 施設）についての詳細解析を行ったところ、浄化槽の地震による被害は、型式により異なる特徴が示されている。また、破損（漏水を含む）による被害には浄化槽の躯体の材質、製造方法、構造あるいは経年的な部品の消耗等が影響しているものと考えられた。浄化槽の浮上については、浄化槽の外形、容積等が影響因子として考えられるが、嫌気ろ床接触ばっ気方式の浮上率が比較的低いものが多かったことから、躯体の形状（縦横高さの比等）や重心が大きな因子となっていたものと考えられた。

今年度は、これまでの成果を浄化槽の耐震構造や耐震施工方法に関する基準策定に繋げるべく、浄化槽の筐体に作用するであろう加速度や深さ方向の加速度分布および変位分布の算定を行った。

#### 2) 方法

浄化槽の設置された地盤を想定して 1 次元の地震応答解析を行い、浄化槽の設置深さ位置（2m 程度）における表層地盤の加速度分布、変位分布を算定する。地震応答解析は、表層地盤の液状化を考慮しない、非線形応答解析とした。

**(a) 地盤条件**

地盤の想定は、以下に示す関東、関西、東北地区の主要な第2種地盤の3パターンとした。ここで、地震応答解析を行うためのせん断波速度  $V_s$  等の地盤条件がそろっている防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET2) の観測点を検討地盤として選定した。

関東地区については、東京都の中心で関東ロームが見られる新宿の観測点 (以下、K-net 新宿)、関西地区は、比較的良好な地盤である四条畷の観測点 (以下、K-net 四条畷) と軟弱層が厚い堺の観測点 (以下、K-net 堺) の2地点を選定した。東北地区では、非常に軟らかい地盤となっている宮城県の中心である仙台の観測点 (以下、K-net 仙台) とし、さらに表層の影響を検討するため、表層を  $V_s=70\text{m/s}$  を  $50\text{m/s}$  とさらに軟らかくした地盤条件として K-net 仙台2 を設定した。

図 1.2-31~35 に各地点の地盤特性を示す。また、地層の凡例を図 1.2-36 に示す。

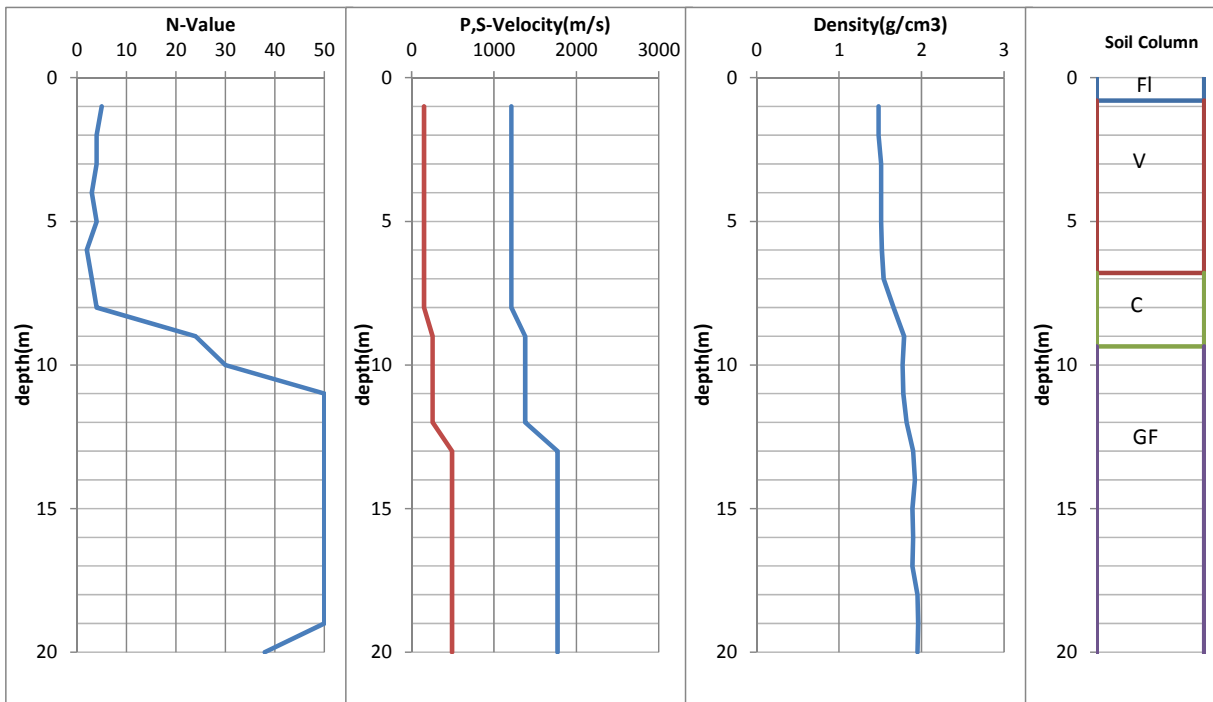


図 1.2-31 関東地区 (K-net 新宿) の地盤条件

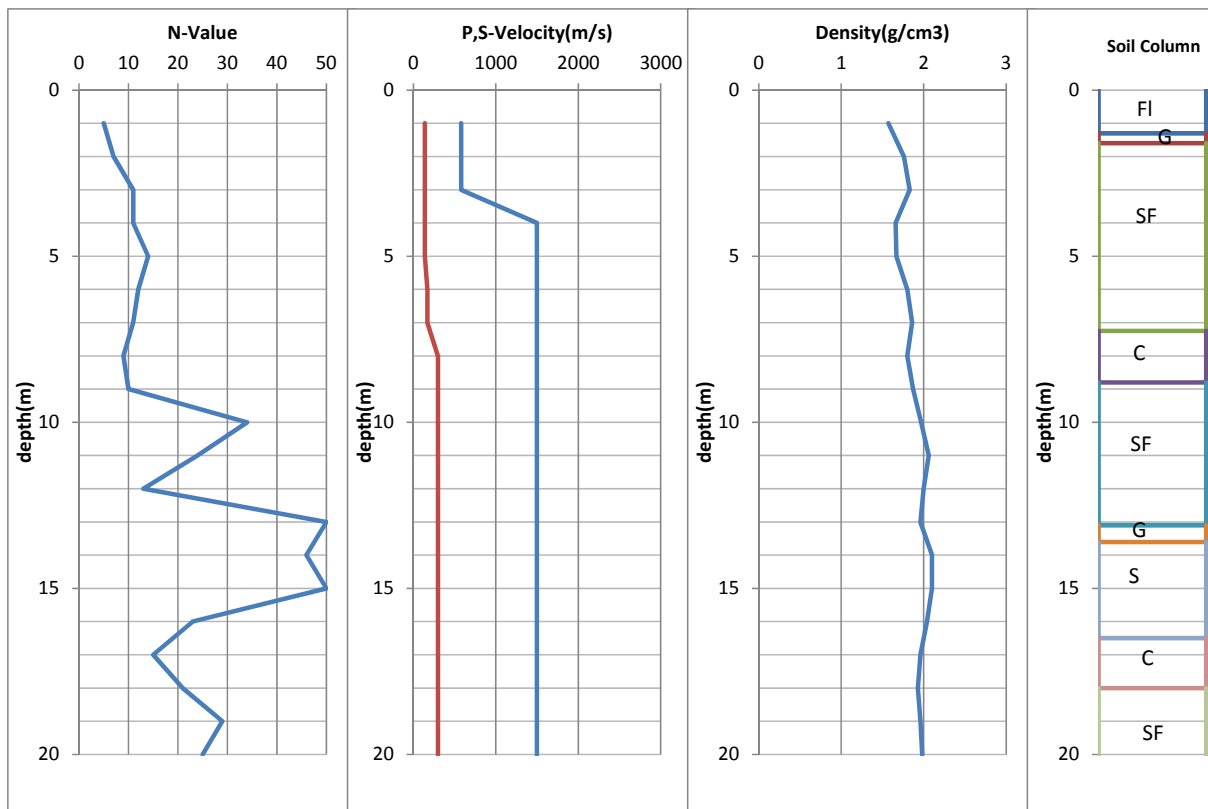


図 1.2-32 関西地区 (K-net 四條畷) の地盤条件

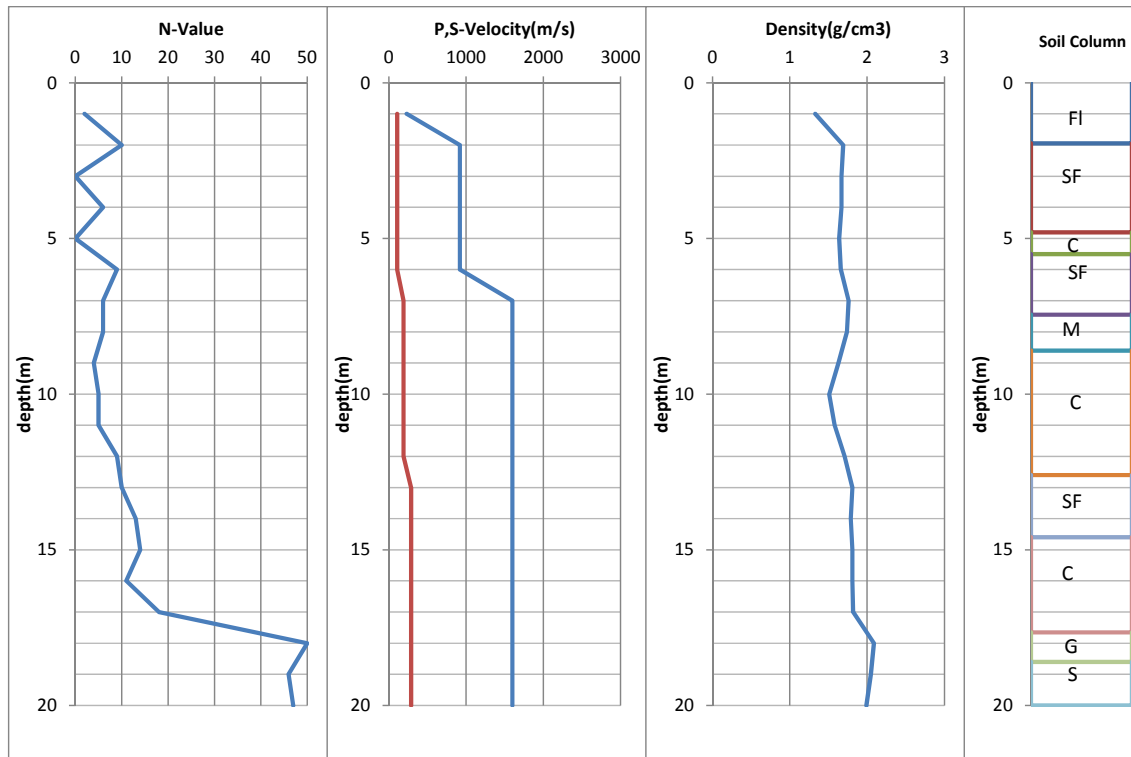


図 1.2-33 関西地区 (K-net 堺) の地盤条件

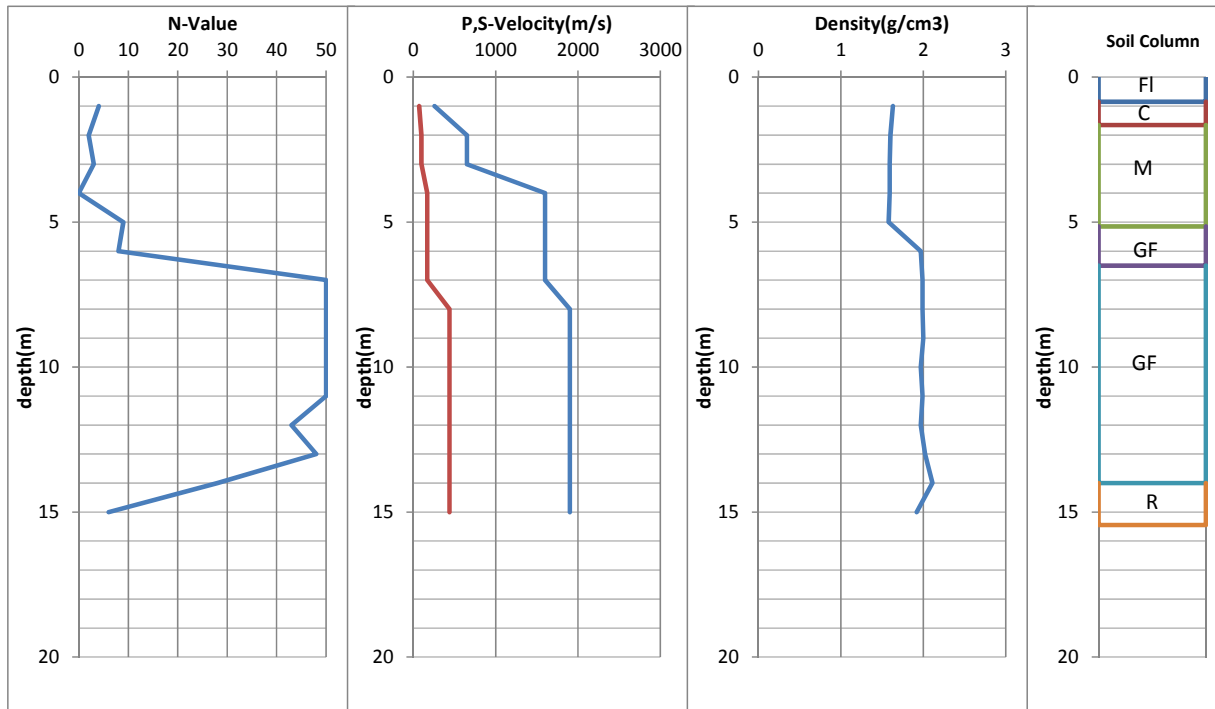


図 1.2-34 東北地区 (K-net 仙台) の地盤条件

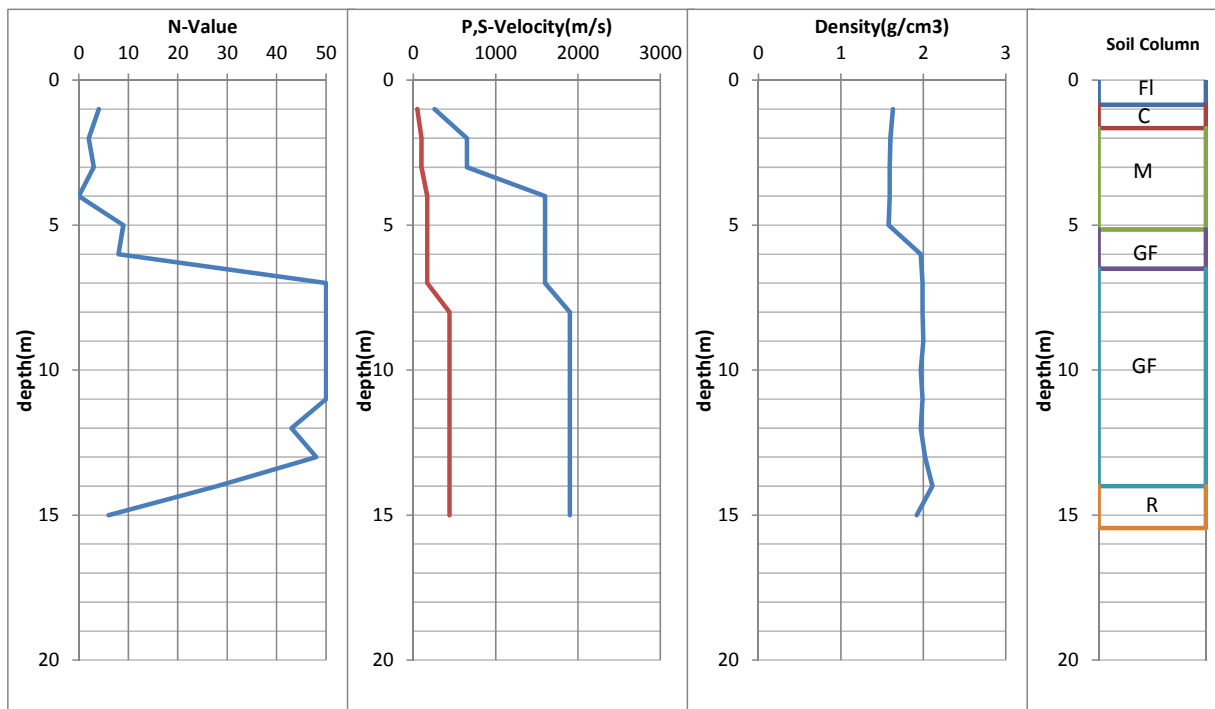


図 1.2-35 東北地区 (K-net 仙台 2) の地盤条件



図 1.2-36 地層の凡例

### 地震動

地震応答解析に用いた地震動を表 1.2-29 に示す。今回、平成 12 年建設省告示第 1461 号に規定された「稀に発生する地震動」(図 1.2-37) と「極めて稀に発生する地震動」(図 1.2-38) の 2 つの地震動 (告示波) を設定した他、東日本大震災について公開された地震観測記録 (加速度記録) として東京都港湾局の夢の島の加速度記録の基盤への引き戻し波を夢の島波 (図 1.2-39) として設定して計算した。図 1.2-40 に示す通り、夢の島波は、極めてまれに発生する地震動とまれに発生する地震動の間の強さであり、長時間に渡る振動が特徴である。但し、今回の検討では液状化は考慮していないため、初期の 60 秒を対象として解析を行った。

表 1.2-29 入力地震動の概要

地震波名	正側最大値 (gal)	負側最大値 (gal)	解析時間 (sec)
告示波 (極めて稀に発生する地震動)	367	-344	60
告示波 (稀に発生する地震動)	73	-69	60
夢の島波	96	-107	160

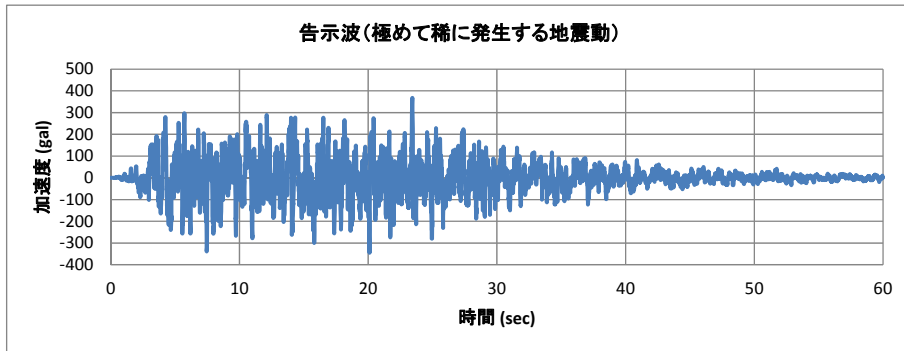


図 1.2-37 告示波 (極めて稀に発生する地震動)

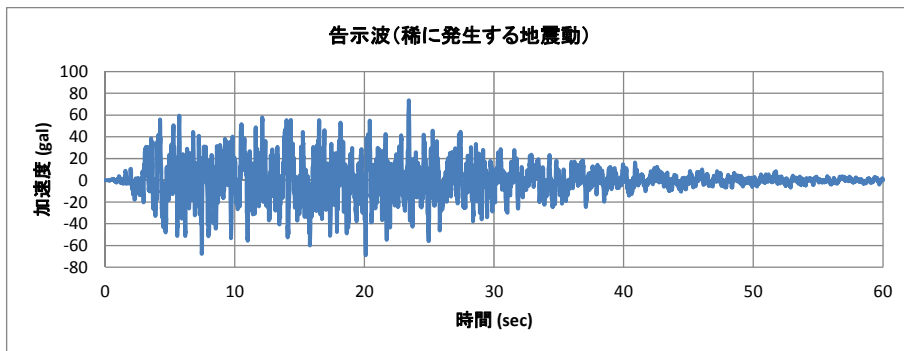


図 1.2-38 告示波 (稀に発生する地震動)

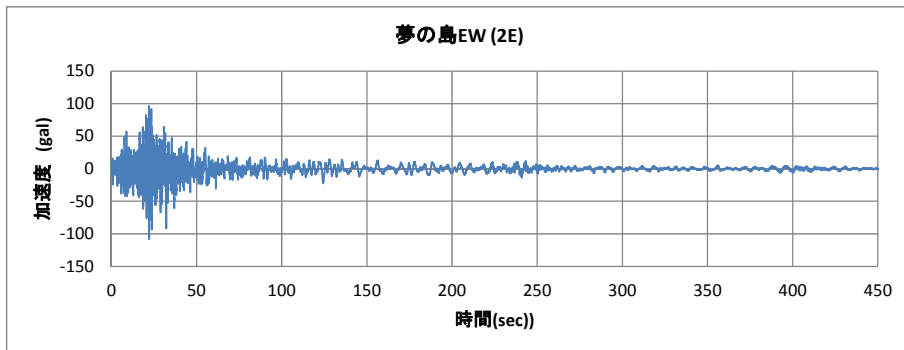


図 1.2-39 夢の島波



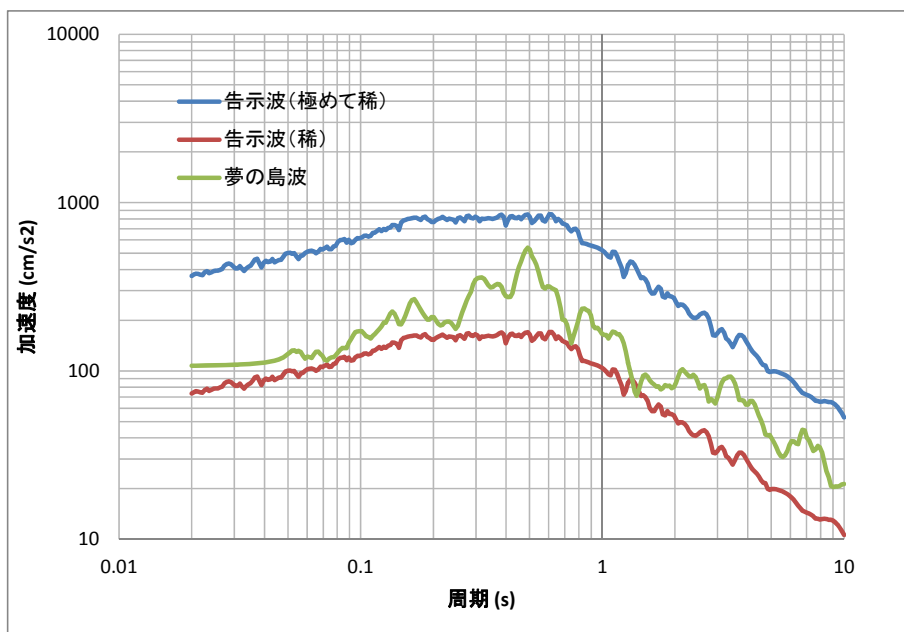


図 1.2-40 加速度応答スペクトル (減衰 5%)

### 3) 結果

表 1.2-30 に浄化槽の設置位置にあたる地表面～深度 2m における最大加速度一覧表を示す。地盤条件としては、良好な地盤から軟弱地盤まで幅広く設定したが、加速度が最も大きい告示波（極めて稀に発生する地震動）での最大加速度は  $500\sim 600\text{cm/s}^2$  程度であった。また、告示波（稀に発生する地震動）では  $100\sim 140\text{cm/s}^2$ 、夢の島波では  $200\sim 280\text{cm/s}^2$  であった。浄化槽を設置する地表面～深度 2m における地盤の最大相対変位を表 1.2-31 に示す。表層地盤のせん断波速度が  $V_s=50\text{m/s}$  と非常に小さい K-net 仙台 2 では 7.6mm と若干大きい、平均すると 2.3mm 程度と小さい値であった。

表 1.2-30 最大加速度一覧表 (地表面～深度 2m)

地盤条件		告示波(極めて稀)	告示波(稀)	夢の島波
関東	K-net 新宿	569.04	124.46	213.57
関西	K-net 四條畷	507.87	107.86	213.60
	K-net 堺	507.93	130.82	275.11
東北	K-net 仙台	600.34	138.21	203.41
	K-net 仙台2	597.74	141.58	213.20
平均		556.58	128.58	223.78

単位:  $\text{cm/s}^2$

表 1.2-31 最大相対変位一覧表（地表面～深度 2m）

地盤条件		告示波(極めて稀)	告示波(稀)	夢の島波
関東	K-net 新宿	0.05	0.01	0.02
関西	K-net 四條畷	0.06	0.01	0.02
	K-net 堺	0.07	0.02	0.05
東北	K-net 仙台	0.22	0.03	0.06
	K-net 仙台2	0.76	0.06	0.10
平均		0.23	0.03	0.05

単位: cm

#### 4) 考察

今回の解析結果を踏まえると、浄化槽の耐震設計においては、レベル 2 地震時は 0.5～0.6 程度の震度、レベル 1 地震時は 0.2 程度の震度を考慮することが考えられた。すなわち、浄化槽の筐体にかかる応力について複数の地盤・地震動の条件で検討を行った結果、極めて稀に発生する地震に対しては、浄化槽の保有水を含めた重量に対して 0.5～0.6 倍、稀に発生する地震については 0.2 倍程度の応力を静的に与え、FEM 解析によってその強度を解析できる可能性が示唆された。

#### 5) 課題

今回の解析結果は、液状化を考慮していないことから、施工に関する検討も進めていく必要がある。また通常、浄化槽はその容量よりも大きめに掘削し、隙間を良質な砂で埋め戻す。従って、地盤が直接浄化槽の筐体に応力を加える訳ではなく、間に埋め戻し土が存在している。従って、今後、得られた数値を用いて浄化槽の強度解析を進めるとともに、その妥当性を評価し、評価基準の基盤を構築していく。

#### 6) まとめ

浄化槽の筐体にかかる応力について複数の地盤・地震動の条件で検討を行った結果、極めて稀に発生する地震に対しては、浄化槽の保有水を含めた重量に対して 0.5～0.6 倍、稀に発生する地震については 0.2 倍程度の応力を静的に与え、FEM 解析によってその強度を解析できる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 環境省：東日本大震災における浄化槽の被害状況（平成 23 年 6 月 6 日）（2011）
- 2) 社団法人道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、1999.

## (2) 災害発生時の活用を見据えた自立型浄化槽システムの確立

### 1) はじめに

東日本大震災は、被災が甚大で広範囲であったことから、応急仮設住宅がへの入居が開始されるまでの間、避難所等における生活の長期化が余儀なくされる事態となった。避難直後の優先事項はライフライン（水、食料、ガス等）の確保であったが、避難生活が長期化するにつれて、プライベートスペースや衛生環境など、QOL (Quality of Life) の確保が重要視されるようになった。特に、排水処理施設の被災から生じた水洗トイレの使用制限は、避難者、被災者にとって大きなストレスとなり、また、衛生面からもその対策が必要となった。仮設トイレが十分に設置された避難所等においても、トイレ洗浄水の不足やバキュームカーの配車が追いつかない状況から、糞が大量に便器内に残った事例も聞かれた。さらに、終末処理場、下水管きよ、ポンプ場等の被害によっては、被災地のみならず、非被災地においても排水自粛要請がなされるなど、その影響は非常に大きかった。

災害復旧は全力で行われたものの、都市ガス、下水道等の集中インフラは、その規模の大きさおよび範囲の広さから復旧の遅れが指摘されており、一方、LP ガスや浄化槽等の分散インフラは被害が限定的であったことから、災害に対して有効であるとの指摘もなされている。この様な状況から、少なくとも避難所や防災拠点等においては、災害時においても水洗トイレおよび污水处理を可能とするシステムの適用が期待される。

本研究では、災害時にも水洗トイレを使用可能とすることを主目的としつつ、水・熱・電気の総合効率向上を目指した避難所仕様の自立型浄化槽システムの開発・設計を目的として、実験的検討を進めてきている。このシステムではコージェネレーションの利用を想定しており、熱と電気の需要バランスを考えて効率的に運用していく必要がある。災害時には電気の利用を重視した電主熱従型の運転が想定されるが、効率的な設計・運用を進める上では、避難所における熱・電気の消費量を想定し、自立型浄化槽を含めてできるだけバランスさせる必要がある。そこで本年度は、災害時においても独立で稼働する自立型浄化槽システムの活用を検討するため、避難所等におけるエネルギー（電力）使用量、熱利用量及び水使用量などのモデル作成に資する情報の収集・整理を行った。

### 2) 方法

避難所等におけるエネルギー（電力）使用量、熱利用量及び水使用量などのモデル作成に資する情報を得るため、地方公共団体（都道府県、市町村等）が公開している防災計画や避難所等の運用計画、又は災害発生後の対応の記録などの公表資料から、以下の情報を収集・整理した。

- ① 避難所等の種類や収容人数
- ② 避難所等におけるトイレの種類や数、排水処理方法
- ③ 災害発生時における避難所等での仮設トイレの設置状況
- ④ 災害発生時における避難所等での電力使用量（想定使用量又は実績）
- ⑤ 災害発生時における避難所等での熱利用量（想定利用量又は実績）
- ⑥ 災害発生時における避難所等での水使用量（想定使用量又は実績）

避難所運営計画等の基礎的情報の収集については、電力使用量（想定）の情報を得ることを優先的に考え、環境省の再生可能エネルギー等導入推進基金（平成23年度～平成26年度）1、2）を参照し、かつ、指定避難所ごとの収容人数が把握可能な地方公共団体について調査を行った。対象地方公共団体のし尿処理形態別人口は、環境省の一般廃棄物処理事業実態調査の平成24年度都道府県別し尿処理状況より把握した。その他の避難所等に関する情報については、整理対象とした地方公共団体が公表している地域防災計画、避難所運営に関する計画やマニュアルほか、ホームページ上での防災に関する案内より情報収集を行った。

なお、再生可能エネルギー等導入推進基金とは、平成21年度地域グリーンニューディール基金及び中核市・特例市グリーンニューディール基金事業をベースに、平成23年度から環境省総合環境政策局により進められている基金制度である。基金対象事業の1つである「公共施設再生可能エネルギー等導入事業」の中で、再生可能エネルギーを導入するにあたり、災害時において避難所として確保すべき電力量等の設定方法や試算結果が公表されている。

### 3) 結果

表1.2-32に示した11の地方公共団体について、避難所運営計画等から情報収集・整理を行った。再生可能エネルギー等の導入を計画しており、かつ災害時の避難所の収容人数が把握可能であった施設は236施設であり、その内訳は、太陽光発電設備の導入施設が191施設、蓄電池設備の導入施設が236施設、太陽熱利用設備の導入施設が2施設であった。

表 1.2-32 避難所運営計画等の情報収集整理の対象とした地方公共団体一覧

都道府県名	市町村名	総人口	浄化槽人口割合	再生可能エネルギー等導入推進基金の対象年度	基金により、再生可能エネルギー等を導入する指定避難所数			太陽光発電設備導入施設数	蓄電池設備導入施設数	太陽熱利用設備導入施設数	
					学校	公民館	社会福祉施設				
北海道	羽幌町	7,895人	6.8%	平成25年度基金(北海道)	1	1	0	0	1	1	1
北海道	中標津町	24,266人	8.0%	平成25年度基金(北海道)	1	0	1	0	1	1	1
青森県	青森市	301,330人	24.8%	平成23年度基金(青森県)	10	5	1	4	10	10	0
岩手県	盛岡市	295,706人	7.6%	平成23年度基金(青森県)	14	9	1	4	12	14	0
宮城県	仙台市	1,040,460人	1.5%	平成23年度基金(仙台市)	187	187	0	0	144	187	0
栃木県	那須烏山市	29,443人	78.1%	平成25年度基金(栃木県)	2	2	0	0	2	2	0
群馬県	富岡市	52,027人	73.1%	平成25年度基金(群馬県)	2	2	0	0	2	2	0
千葉県	我孫子市	134,404人	17.6%	平成25年度基金(千葉県)	3	3	0	0	3	3	0
大阪府	茨木市	276,713人	1.4%	平成25年度基金(大阪府)	4	0	4	0	4	4	0
香川県	綾川町	25,222人	59.2%	平成25年度基金(香川県)	8	0	8	0	8	8	0
福岡県	久留米市	305,470人	21.6%	平成25年度基金(福岡県)	4	0	4	0	4	4	0
計					236	209	19	8	191	236	2

仙台市は単独で再生可能エネルギー等導入推進基金の対象となっているが、それ以外の地方公共団体はすべて、都道府県が再生可能エネルギー等導入推進基金の計画主体となっている。対象

とした地方公共団体のうち、再生可能エネルギー等を導入する指定避難所数が最も多いのは仙台市であり、対象となる施設 187 施設はすべて学校であった。その他公民館や社会福祉施設（コミュニティセンターなど）が導入の対象となっていた。太陽光発電設備と蓄電池設備の導入施設数について、盛岡市及び仙台市では蓄電池のみ導入される施設があるが、これは太陽光発電設備が既設である場合に、蓄電池のみ再生可能エネルギー等導入推進基金を用いて導入する計画となっているためである。

太陽熱利用などの熱利用設備については、平成 23 年度～平成 26 年度の再生可能エネルギー等導入推進基金の対象となっている地方公共団体の中で唯一北海道が計画を行っているが、避難所別の導入量に対して、その施設の災害時の収容人数が把握できたのは羽幌町及び中標津町のみであった。

再生可能エネルギー等の導入を計画しており、かつ災害時の避難所の収容人数が把握可能であった 236 施設について、災害時収容人数のヒストグラムを図 1.2-41 に示した。また参考として、再生可能エネルギー等の導入計画のない指定避難所を含めた、対象 11 地方公共団体の全指定避難所 997 施設の災害時収容人数のヒストグラムを図 1.2-42 に示した。平均収容人数は 469 人、中央値は 325 人であった。

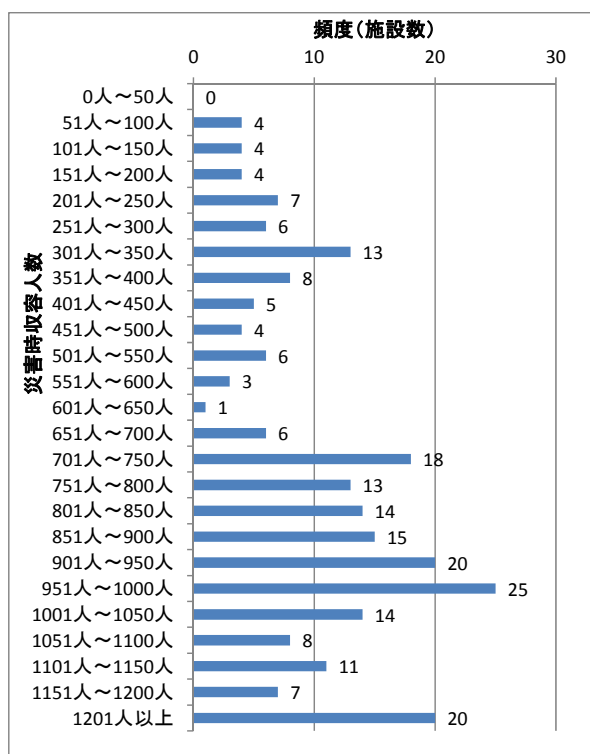


図 1.2-41 対象 11 地方公共団体の避難所のうち、再生可能エネルギー等の導入を計画している避難所の災害時収容人数のヒストグラム

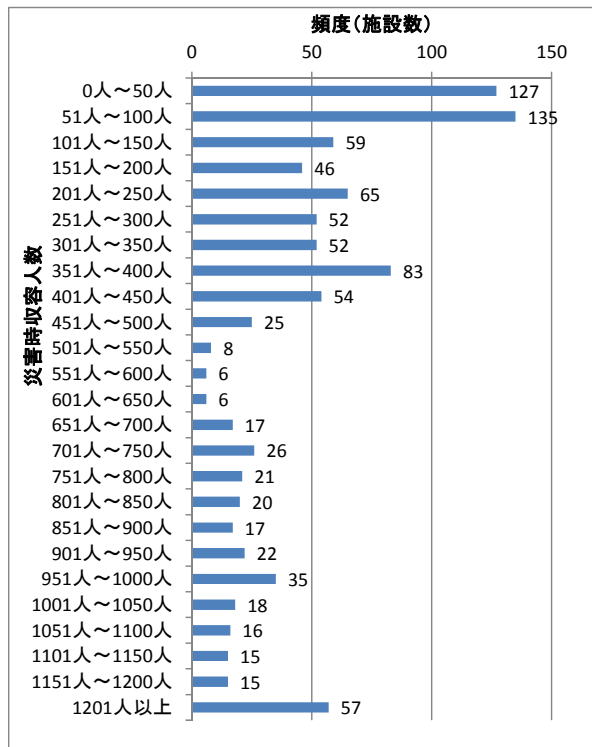


図 1.2-42 対象 11 地方公共団体の全避難所の災害時収容人数のヒストグラム

(a) 太陽光発電設備導入施設の収容人数と導入電力 (kW) の関係

太陽光発電設備の導入を計画している 191 施設の避難所収容人数と太陽光発電設備の導入電力量の分布を図 1.2-43 に示した。また、表 1.2-33 には太陽光発電設備導入電力別の施設数及び災害時の平均収容人数を示した。この図から明らかのように、指定避難所となっている学校の太陽光発電設備の導入電力は、ほぼすべての施設で災害時の収容人数に関わらず全て 10kW であった。社会福祉施設については、6kW、15kW が 2 施設ずつ、10kW が 4 施設であった。また、公民館については 5kW が 8 施設、10kW が 7 施設という結果であった。

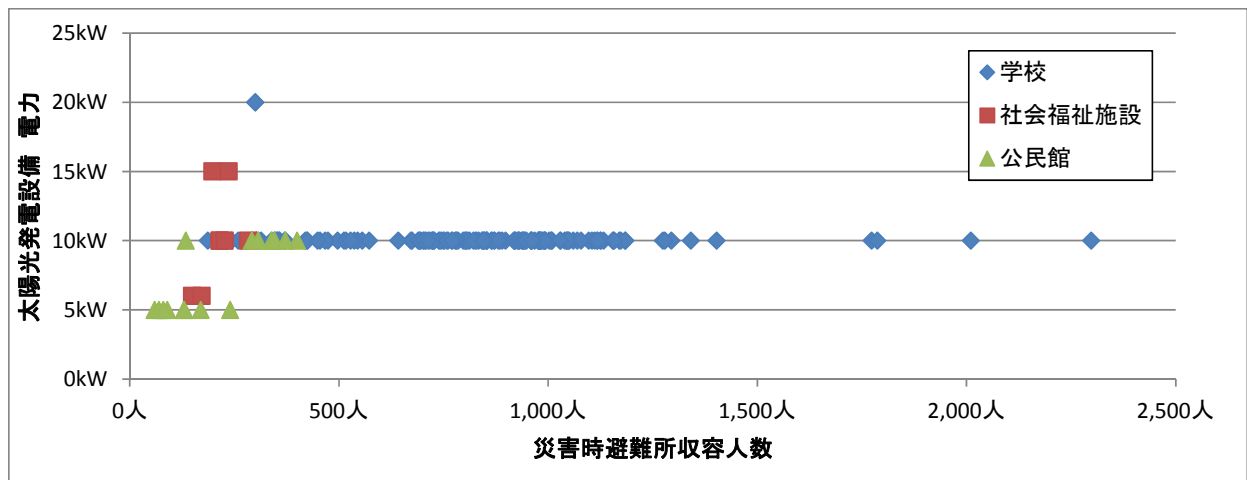


図 1.2-43 災害時避難所収容人数と太陽光発電設備の導入電力 (kW) の分布図 (全地方公共団体)



表 1.2-33 太陽光発電設備導入電力別施設数及び災害時の平均収容人数

施設種類	学校		社会福祉施設		公民館		
	10kW	20kW	6kW	15kW	10kW	5kW	10kW
施設数	166施設	2施設	2施設	2施設	4施設	8施設	7施設
平均収容人数	840人	300人	161人	218人	235人	121人	313人

対象自治体のうち、施設数の最も多い仙台市（144 施設）を除くと、施設の種類を問わず、多くの施設で収容人数 500 人以下の施設であった（図 1.2-44）。

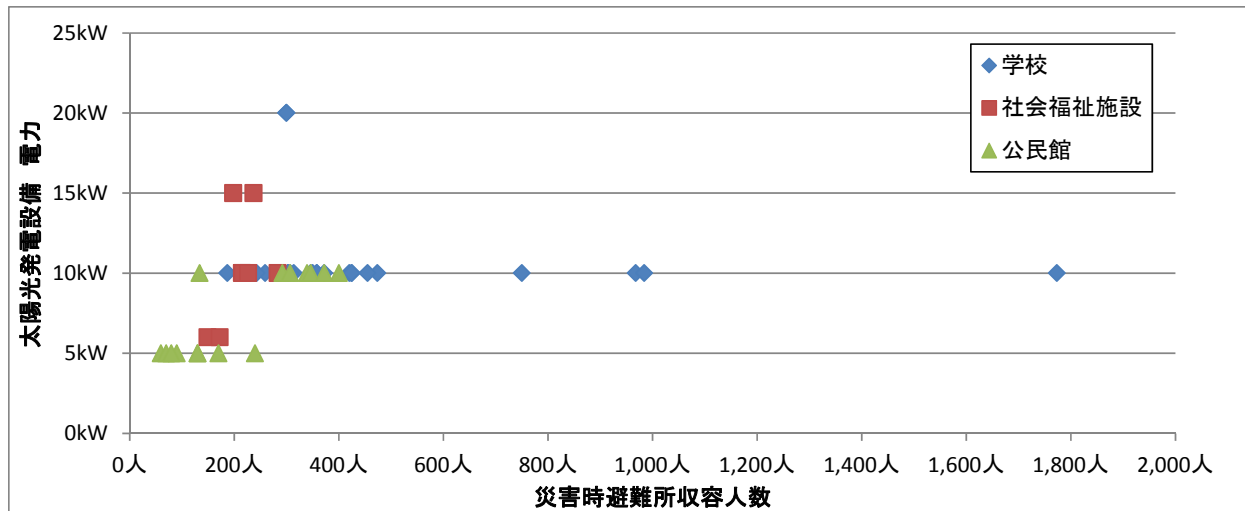


図 1.2-44 災害時避難所収容人数と太陽光発電設備の導入電力 (kW) の分布図 (仙台市を除く)

(b) 蓄電池設備導入施設の収容人数と蓄電池の電力量 (kWh) の関係

今回把握できた情報のうち、1つの施設では蓄電池の電力量 (kWh) が 130kWh (収容人数: 420 人) と高い数値であったが、それ以外の施設では、蓄電池の導入容量は 10kWh~30kWh であった。蓄電池の導入を計画している 235 施設の避難所収容人数と蓄電池導入電力量の分布 (飛び抜けて高い 1 施設を除く) を図 1.2-45 に示す。また、表 1.2-34 に蓄電池の導入電力量別施設数及び災害時の平均収容人数を示した。

指定避難所のうち学校については、蓄電池の導入電力量を 15 kWh としている施設が最も多く、212 施設中 185 施設であった。その他の学校施設における蓄電池の導入電力量は、4 施設が 20kWh、2 施設が 30kWh であり、12 施設が 25kWh であった。社会福祉施設及び公民館への蓄電池の導入電力量は 15kWh 前後であった。なお、蓄電池の電力量が飛び抜けて高い 1 施設および施設数の多い仙台市を除くと、災害時の避難所収容人数は学校、社会福祉施設及び公民館のいずれも収容人数 500 人以下の施設であった。

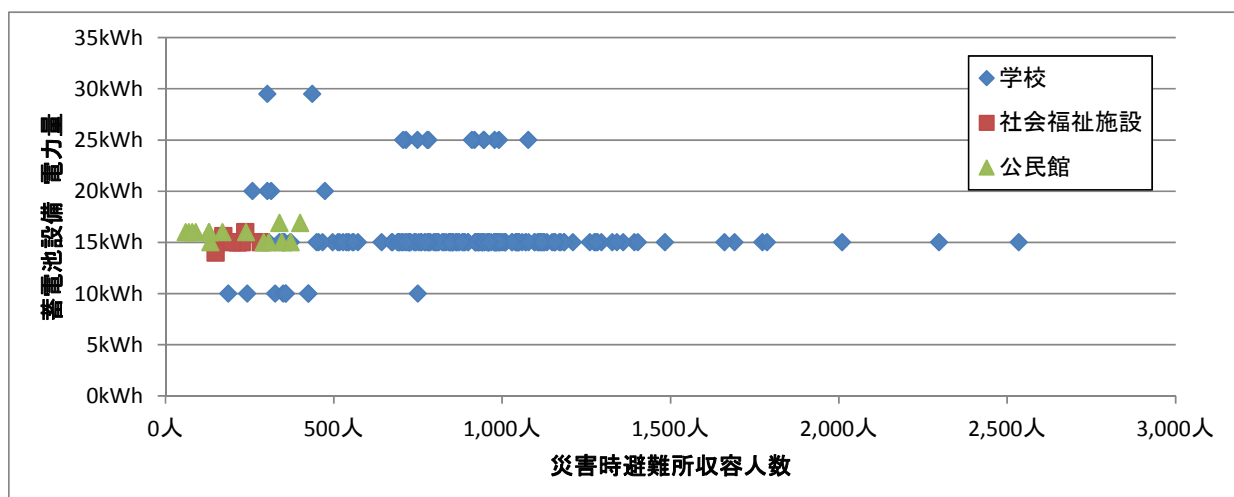


図 1.2-45 災害時避難所収容人数と蓄電池の電力量 (kWh) の分布図

表 1.2-34 蓄電池導入電力量別施設数及び災害時の平均収容人数

施設種類	学校						社会福祉施設			公民館		
	10kWh	15kWh	20kWh	25kWh	30kWh	130kWh	14kWh	15kWh	16kWh	15kWh	16kWh	17kWh
太陽光 導入電力	10kWh	15kWh	20kWh	25kWh	30kWh	130kWh	14kWh	15kWh	16kWh	15kWh	16kWh	17kWh
施設数	9施設	185施設	4施設	12施設	2施設	1施設	1施設	5施設	1施設	5施設	8施設	2施設
収容人数平均値	380人	918人	338人	875人	370人	420人	149人	228人	172人	290人	121人	370人

### (c) 避難所における必要電力量の設定

環境省再生可能エネルギー等導入推進基金における太陽光発電設備又は蓄電池設備の1施設あたりの導入量に関する設定方法を見ると、照明、テレビ、パソコン、プリンタの他、固定電話、FAX、コピー機、携帯電話充電、電気ポット、冷蔵庫などが挙げられていた。また、夜間の電気使用を想定し、蓄電池容量と昼間の消費電力量を合計し1日の発電量で除した数値を参考に太陽光発電設備の容量を決定する等のケースもあった。従って、自立型浄化槽浄化槽システムにおいてコージェネレーションを導入する上では、災害時に使用する設備の消費電力をより具体的に想定し、昼間の消費電力量と夜間の消費電力を算出し、蓄電池等の利用も考慮していく必要があると考えられる。

なお、避難所における電力等の計画について、自治体毎の平均値を整理したものを表 1.2-35 に示す。今回の調査対象自治体は北海道から九州まで存在しているが、必ずしも南北で傾向がある訳では無いことから、冷暖房に関する消費電力や暖房器具など、詳細な影響は把握できなかった。

表 1.2-35 避難所における電力等の計画

	収容人数1人当たり(自治体毎の平均値)		
	発電設備(kW)	蓄電池(kWh)	太陽熱(MJ/日)
羽幌町	0.024	0.310	0.600
中標津町	0.025	0.042	0.118
青森市	0.039	0.059	-
盛岡市	0.041	0.066	-
仙台市	0.012	0.019	-
那須烏山市	0.021	0.021	-
富岡市	0.067	0.050	-
我孫子市	0.009	0.013	-
茨木市	0.026	0.026	-
綾川町	0.050	0.160	-
久留米市	0.031	0.046	-
平均値	0.031	0.074	0.359
中央値	0.026	0.046	0.359
STDEV	0.017	0.088	0.341

#### (d) 避難所での水使用量、運営等

防災計画等を元に地方公共団体毎に避難所情報としてまとめたものを表 1.2-36 に示す。防災計画等では仮設トイレ等を備蓄することが定められているが、備蓄数が HP 等で公表されていない場合があったため、今回は得られたデータのみを利用して整理した。また、熱利用量については情報が少なく、北海道羽幌町及び北海道中標津町のみデータを入手することができた。水使用量に関するデータは少ないものの、飲料水としては1人1日に3L、生活用水は約20Lとされていた。また、3日目まで3L/人・日、10日目まで20L/人・日、21日目まで100L/人・日、それ以降は被災前と同様(250L/人・日)というように、発災からの経過日数で給水目標を定めた計画も見られた。

トイレについては、例えば仙台市では、「避難所開設当初から使用できる体制が必要であり、施設のトイレの使用可否を早急に確認するとともに、被害状況により、用水を確保して使用する、災害用簡易組立トイレを設置する等、対応を決定して確保を図る」とされている。但し、具体的な設置数等に言及しているケースは少なく、状況に応じて対応するという計画がほとんどであった。

表 1.2-36 地方公共団体毎の避難所情報（一次まとめ）

項目	単位	北海道		青森県	岩手県	宮城県	栃木県	群馬県	千葉県	大阪府	香川県	福岡県
		羽根町	中標津町	青森市	盛岡市	仙台市	那須烏山市	高崎市	我孫子市	茨木市	綾川町	久留米市
総人口	人	7,895	24,286	301,330	295,706	1,040,460	29,443	32,027	134,404	276,713	25,222	305,470
町内就業人口	人	3,772	3,669	25,524	23,228	8,914	1,590	4,786	1,860	2,208	2,981	38,388
自家処理人口	人	0	27	0	0	0	0	52	0	0	0	312
公共下水道人口	人	3,589	18,640	201,170	249,995	1,012,170	4,861	8,042	107,327	270,671	7,300	200,884
コミュニティプラント人口	人	0	0	0	0	4,280	0	1,125	1,586	0	0	0
浄化槽人口	人	534	1,930	74,636	22,485	15,096	22,992	38,022	23,631	3,834	14,941	65,886
避難所数	施設	39	27	181	200	193	40	40	26	75	38	139
避難所収容人数 平均値	人/施設	217	556	358	343	921	251	196	1116	412	242	336
避難所収容人数 中央値	人/施設	35	200	246	149	922	100	175	1158	358	160	290
災害時の仮設トイレ等 備蓄/設置数	仮設トイレ	-	-	-	198	753	-	-	-	-	-	-
	簡易トイレ	-	-	-	327	61	-	-	-	250	-	-
	ポータブルトイレ	-	-	-	-	130,000	-	-	-	-	-	-
	下水道利用型仮設トイレ	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-
避難所での電力使用量 注1)	電力消費量(昼間)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	電力消費量(夜間)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	電力消費量(夜間) 導入する太陽光電池の発電能力	70	10	10	10	10	10	20	10	10	5	10
	導入する蓄電池の蓄電能力	130	17	15	20	15	10	15	15	10	16	15
避難所での熱利用量	kW/施設	252	471	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MJ/施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
避難所での水使用量	飲料水のみ	-	3	3注1)	-	-	3注2)	-	3	3	3注3)	-
	生活用水含む	-	20	注1)	-	-	注2)	-	20	-	注3)	-

注1)施設によって電力使用量が異なる仙台市、盛岡市は、最長値を入力している。  
 注2)盛岡市では、災害発生後3日目までは3L/人、4~10日目までは20L/人、11~21日目までは100L/日 22日目からは被災前と同程度としている。  
 注3)富岡市では、災害発生後3日目までは3L/人、4~10日目までは20L/人、11~21日目までは100L/日 22日目からは250Lとしている。  
 注4)久留米市では、飲料水の確保が困難なときは3L/人、飲料水の確保が困難であるが搬送給水できるときは14L/人、  
 感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律により知事が飲料水施設の使用停止を命じたときは20L/人、  
 上記の状況が長期にわたる時は35L/日としている。

#### 4) 考察

##### (a) 自立型浄化槽の設計に資する電力需給モデル

自立型浄化槽の設計に資する電力需給モデルの構築については、対象避難所として既存の浄化槽エリアを想定する場合は、調査施設数の最も多い仙台市（144 施設）を除くと、施設の種別を問わず、多くの施設で収容人数 500 人以下がほとんどであったことから、収容人数を 500 人以下として設定することが考えられた。一方で、下水道の被災時にも対応していく場合は、1,000 人以上の施設についても考慮しておく必要があると考えられる。具体的なデータとしては、太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入計画があり、かつ、災害時の避難所の収容人数が把握可能な 236 施設について調査を行った結果を見ると、収容人数 1 人当たりの発電設備で 0.009~0.067 kW/人と大きく幅があり、蓄電設備についても 0.013~0.310 kWh/人と開きがある。これは、地域や施設の特性および避難所の規模が影響していることが想定される。従って、地域や規模に応じて、モデル設定を行い、自立型浄化槽の設置による効果・総合エネルギー効率を評価していく必要がある。

避難所における必要電力量をより詳細に見てみると、照明、テレビ、パソコン、プリンタの他、固定電話、FAX、コピー機、携帯電話充電、電気ポット、冷蔵庫などが挙げられている。また、昼間と夜間を分けて消費電力を設定している自治体もあり、今後、調査結果を精査するとともに、データ数を増やしていくことで、自立型浄化槽の設計に資する電力需給モデルを構築できるものと考えられた。

##### (b) 自立型浄化槽の流入負荷

自立型浄化槽の流入負荷の設定については、今回の調査では詳細な水使用量が把握できなかったことから、避難所の収容人数に想定される洗浄水量を乗じて設定する必要がある。この場合、旧式のトイレと近年の節水トイレでは水使用量が大きく異なることから、自立型浄化槽の設計においては、トイレの仕様を考慮して流入負荷設定を行う必要がある。例えば、様式の便器が普及し始めた 1970 年代には 16L/回であった洗浄水量が、最近のものでは 5L/回程度まで節水が進んできており、旧式のトイレと比べると、2~3 倍の差が生じることとなる。これまでの調査において、一般的な排泄回数は、排泄大 1.09 回/人・日、排泄小 5.39 回/人・日であり、排泄回数に既存

のトイレ（大 10L、小 6L と設定）と節水トイレ（大 6L、小 5L と設定）の洗浄水量を乗じたトイレ用水量を比較した結果、節水トイレを導入することにより、4 割強の節水効果が期待できることが明らかとなっている。これは同時に、自立型浄化槽への流入水量の削減とトイレ洗浄水への供給能力の確保に繋がるものであり、トイレの仕様を踏まえた水量設定が重要な位置づけにある。

## 5) 課題

今回、限られたデータではあるが、地方公共団体の想定する避難所における電力・水・熱に関して、一定の情報を収集・整理することができた。今後の課題は以下に示す通りである。

### (a) 調査対象数

本業務においては、収集・整理の対象とする地方公共団体の数を 10 件程度として情報収集を行ったが、公共施設への再生可能エネルギー等を計画しており、かつ避難所における収容人数が公表されているという条件に適合する地方公共団体が限られるため、避難所の収容人数と再生可能エネルギー等の導入量を関連づけることができた施設は、ほとんどが仙台市の施設であった。

今後の課題としては①情報収集の件数を増やす、②避難所の収容人数等について地方公共団体から直接データを収集して補完する、などの検討が必要である。

### (b) 避難所として今後活用される可能性がある施設

地域の防災拠点としての活用が注目されつつある廃棄物焼却発電施設やパーキングエリアのような施設について、現時点では公表情報が少ないが、今後の自立型浄化槽システム導入の可能性を検討するために、継続的な情報収集・整理が必要である。

### (c) 熱利用に関するデータ

自立型浄化槽システムの導入に際して想定しているのは、避難所にコージェネレーション設備を導入し、その電力で浄化槽を稼働し、水洗トイレを使用可能とするものである。この時、廃熱をいかに活用できるかがコージェネレーションの総合効率を高める上では重要となるため、避難所での熱需要を把握する必要がある。今回情報収集を行う中で、避難所における電力供給量（≒ 想定使用量）に重点をおいたため、コージェネレーション設備を導入している、あるいは熱供給設備を導入している施設に関する情報については北海道に関する事例のみとなった。今後の課題としては、コージェネレーション設備導入を行う民間会社等にも協力を依頼し、避難所等への導入事例についてのヒアリングを行うことなどが考えられる。

また同時に、電気の利用を重視した電主熱従型の運転において余った排熱を利用して浄化槽の加温を行い、処理性能の向上とトイレ洗浄水の供給能力の向上・浄化槽の維持管理頻度の削減に繋げる技術開発を検討している。これにより、電気の利用を重視した電主熱従型の運転においても効率的な設計・運用が可能になるものと考えられる。

## 6) まとめ

自立型浄化槽の設計に資する電力需給モデルの構築に向けて、避難所の収容人数、電力消費量等のデータを収集・整理することができた。今後、データを精査するとともに、データ数を増や

していくことにより、モデルの精緻化が可能になると考えられる。水使用量については十分な公表データ数が収集できなかったが、これについては、調査数を増やしても顕著な事例の増加には繋がらないと考えられる。従って、自立型浄化槽の流入水量設定については、トイレの仕様と収容人数、使用回数のモデルから設定することが妥当と考えられた。

## 参考文献

- 1) 再生可能エネルギー等導入推進基金事業（グリーンニューディール基金事業）事業計画書 全体計画（平成 23 年度～平成 26 年度）
- 2) 再生可能エネルギー等導入推進基金事業（グリーンニューディール基金事業）各年度報告書（平成 24 年度～平成 25 年度）

## (3) 復旧支援システムの構築と災害対応を考慮した汚水処理施設の評価

### 1) はじめに

し尿・汚泥は、し尿処理施設へ車両で輸送されて適正処理されるが、災害によって当該施設が停止した場合は、周辺施設での受入を調整し、輸送することとなる。但し、各施設で受け入れられる量には制約があるため、近隣他県の施設へ移送する必要性も想定される<sup>1)</sup>。そのような広域的輸送では、小型車両による個別収集と大型車両への積み替え・二次輸送という中継輸送が有効になると考えられる<sup>2)</sup>。このような災害時の対応については、平時において、想像力を最大限に働かせ、適切な災害時の協力協定などを進めておくことが重要であり、それを支える研究の観点からも、災害研究<sup>3)</sup>として被災前にシミュレーション用のモデルを作成し、平時より具体的な検討を重ねておくことが肝要である。

これまでに、し尿処理における震災直後の短期的な対策として、混合整数計画法（MILP: Mixed Integer Linear Programming）を用いることで中継基地を導入した広域的輸送計画モデルの提案を行ってきた。ここでは、被災後にいくつかの施設が機能停止に陥った状況の下、県外との協力処理を行うシナリオを設定し、仮設ピットを設置することで、被災を免れて稼働している施設に処理機能を保ったまま中継基地としての機能を持たせた。各被災シナリオに対するシミュレーションの結果、仮設ピットを設置すべき施設及びピット容量が把握され、中継基地を導入した際の総費用削減効果も確認された。すなわち、輸送効率性  $\text{ton}\cdot\text{km}$  の最小化を目的とした最適輸送計画問題を解き、地域に即した輸送モデルを構築することにより、災害時の輸送効率を最小化した輸送計画を作成し、不足する輸送能力（収集輸送車台数）や域外に搬出する量を算定可能なシステム基盤の構築を検討した。

しかしながら、これまでの研究で設定された被災シナリオは、沿岸部に整備された施設全てが機能停止に陥るほどの被害を想定していたが、被害の度合いが変化した際の検証がなされていなかった。そこで今年度は、機能停止となる施設の数を変化させ、感度分析を行う事で、中継輸送の拠点となる施設が既存の研究に対してどのように変化するかを把握することとした。

## 2) 方法

### (a) 対象地域とネットワークの作成

分析対象とする地域は、これまでの研究で対象としてきた I 県とした。I 県は 33 の市町村から

構成され、総面積は約 15,200km<sup>2</sup>程度、総人口は 130 万人程度の規模を有している。対象地域の東側は海に面しており、西側は山に囲まれている。

ここで、対象地域に属する市町村の地理的關係を図 1.2-46 に示す。図中の番号は各市町村の役場の位置を表している。現在は県内 13 箇所のし尿処理施設（施設 A から M）において、し尿及び浄化槽汚泥を処理しており、広域的処理の際には、隣接する県に整備された 9 箇所の施設（施設 N から V）が追加の処理候補施設となる。対象地域に設置されたし尿処理場の地理的關係を表したものを図 1.2-47 に示す。以上に述べた市町村及びし尿処理施設からなるネットワークを図 1.2-48 に示す。図 1.2-48 における各市町村及び処理施設を結ぶ距離は、国道及び県道を通るルートを選定し、GoogleMap を使用して調査した結果を扱った。

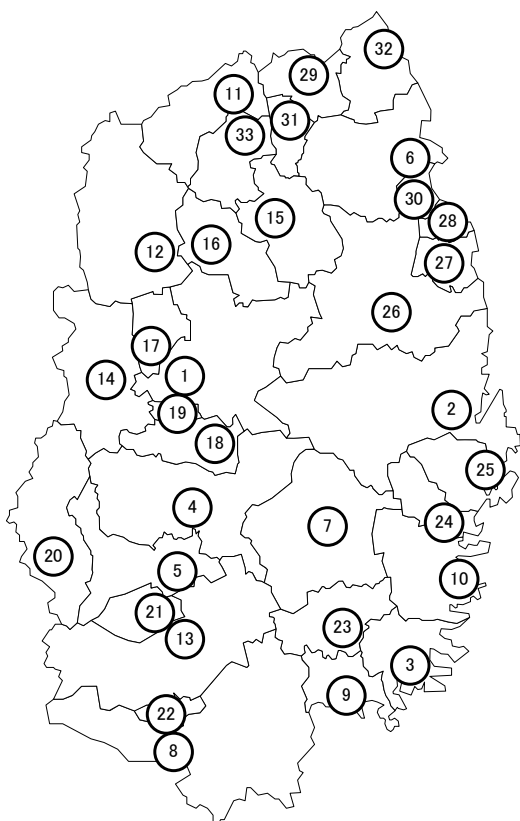


図 1.2-46 市町村の地理的關係

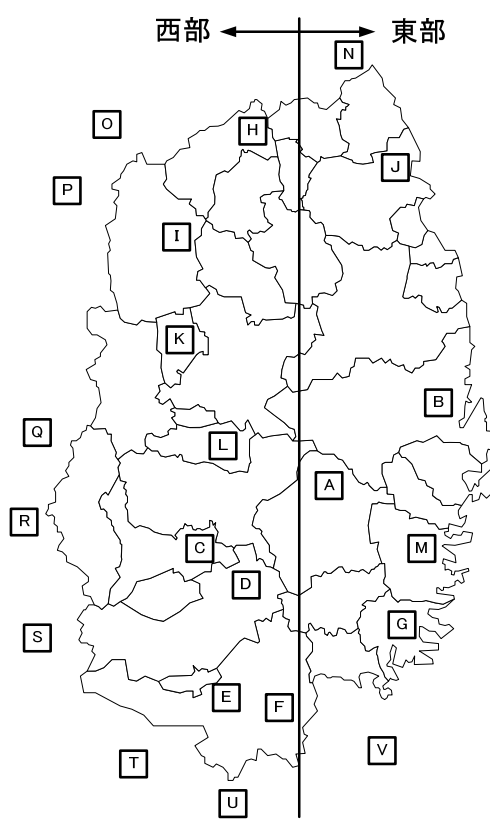


図 1.2-47 し尿処理施設の地理的關係



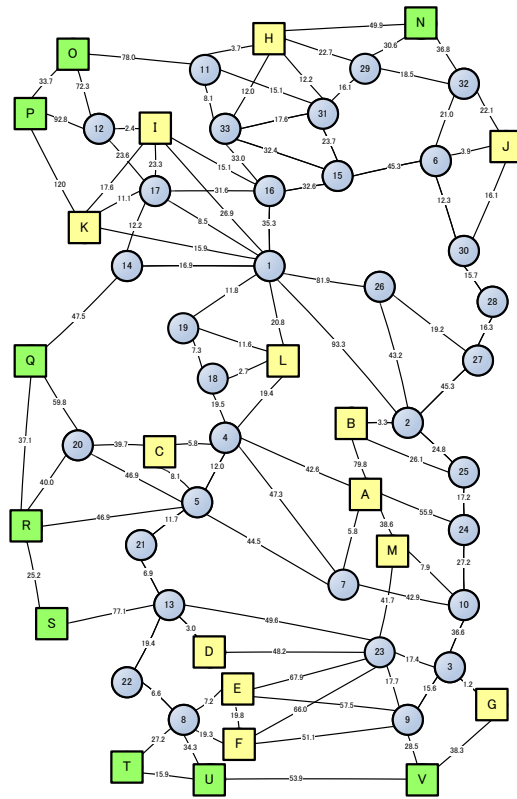


図 1.2-48 作成したネットワーク図

また、環境省の一般廃棄物処理実態調査結果を基に、各市町村におけるし尿・浄化槽汚泥の発生量及び各し尿処理施設の施設規模をそれぞれ表 1.2-37 及び表 1.2-38 に示す。ここで、表 1.2-38 における余裕量とは、当該施設の施設規模から従来当該施設に搬入・処理されていた量を差し引いた量を示す。なお、後述する輸送費用を算出するために便宜上、し尿の単位容積重量を  $1\text{ton}/\text{m}^3$  として重量換算し、単位を  $\text{ton}$  で表している。

表 1.2-37 し尿発生量

市町村 No.	し尿発生量 (ton/day)		
	し尿	浄化槽汚泥	計
1	76	22	98
2	74	12	86
3	66	20	86
4	82	49	131
5	67	30	96
6	62	13	75
7	46	7	52
8	192	38	230
9	27	10	37
10	44	9	53
11	43	7	50
12	34	16	51
13	145	50	195
14	12	5	17
15	6	2	8
16	20	2	22
17	41	13	55
18	17	13	30
19	9	7	16
20	5	2	7
21	11	5	16
22	12	2	13
23	6	2	8
24	21	4	25
25	30	3	33
26	15	2	17
27	4	1	5
28	4	2	6
29	12	3	15
30	4	2	6
31	6	1	7
32	20	9	29
33	17	3	20
合計	1230	366	1595

表 1.2-38 施設規模および余裕量

		施設規模	余裕量
		ton/day	ton/day
県内施設	A	61	
	B	193	
	C	250	
	D	276	
	E	160	
	F	100	
	G	130	
	H	112	
	I	145	
	J	105	
	K	170	
	L	170	
	M	84	
県外施設	N	335	43
	O	90	20
	P	160	19
	Q	60	13
	R	125	18
	S	160	28
	T	160	49
	U	128	0
	V	130	22

(b) 最適輸送計画モデル

震災後に各市町村から発生したし尿を各し尿処理施設へ効率的に輸送するため、一部のし尿処理施設を中継基地化し、MILP を用いて総費用の最小化を目的とした最適輸送計画問題を解くこととした。輸送問題の係数である輸送距離を算出する際には、し尿の各発生地から各し尿処理施設までの最短距離を結んだ図 1.2-49 で示すネットワークモデルとして扱った。定式化はこれまでの研究に準じて行った<sup>4)</sup>。

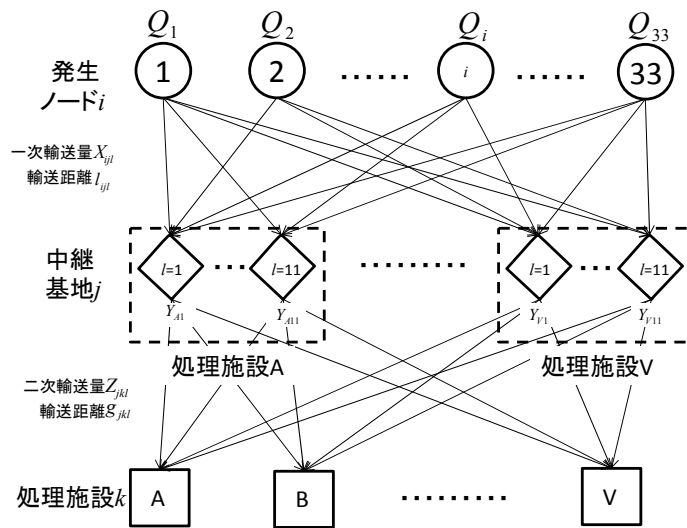


図 1.2-49 ネットワークモデル

(c) シナリオ設定

感度分析を行うため、災害時の被災シナリオとして、機能停止に陥る施設の数を変化させた。すなわち、県東部に整備されている施設は A、B、G、J 及び M であり、そのうち 1 施設のみが機能停止に陥るケースをそれぞれ case1-1~case1-5 として表 1.2-39 のように設定した。また、県東部に整備された施設のうち 2 施設のみが機能停止に陥るケースをそれぞれ case2-1~case2-10 とし、表 1.2-40 のように設定した。

表 1.2-39 県東部に整備された 5 施設のうち 4 施設が被害を受けたケース

	case1-1	case1-2	case1-3	case1-4	case1-5
被害無し	A	B	G	J	M
機能停止	B、G、J、M	A、G、J、M	A、B、J、M	A、B、G、M	A、B、G、J

表 1.2-40 県東部に整備された 5 施設のうち 3 施設が被害を受けたケース

	case2-1	case2-2	case2-3	case2-4	case2-5
被害無し	A、B	A、G	A、J	A、M	B、G
機能停止	G、J、M	B、J、M	B、G、M	B、G、J、	A、J、M

	case2-6	case2-7	case2-8	case2-9	case2-10
被害無し	B、J	B、M	G、J	G、M	J、M
機能停止	A、G、M	A、G、J	A、B、M	A、B、J	A、B、G

既往研究<sup>5)</sup>より、一次輸送および二次輸送の単価は、それぞれ、126 円/ton・km、58 円/ton・km と設定した。仮設ピットの容量  $C_i$  を当該施設規模の  $n$  時間分とし、仮設ピットを設置しない条件である  $n=0$  の 1 候補と可搬式のピットの適応性を判断するために  $n=4$  から  $n=12$  までの 1 時間毎

とした 9 候補、常設的な貯留槽が必要であるかどうかを判断するために  $n=24$  を加えた全 11 候補を設定した (表 1.2-41)。なお、使用する仮設ピットは 5 人用の浄化槽を想定しており、一つ当たりの容量は 1.47m<sup>3</sup>、単価は 447 円/日とした。

表 1.2-41 各施設における仮設ピット容量の候補

$l$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
施設規模の $n$ 時間分		0	4	5	6	7	8	9	10	11	12	24	
仮設ピット容量 $C_i$ (ton/日)	県内施設	A	0.00	11.76	13.23	16.17	19.11	22.05	23.52	26.46	29.40	32.34	61.74
		B	0.00	33.81	41.16	49.98	57.33	66.15	73.50	82.32	89.67	97.02	194.04
		C	0.00	42.63	54.39	63.21	73.50	85.26	94.08	105.84	116.13	126.42	251.37
		D	0.00	47.04	58.80	69.09	82.32	92.61	104.37	116.13	127.89	138.18	276.36
		E	0.00	27.93	35.28	41.16	47.04	54.39	60.27	67.62	74.97	80.85	160.23
		F	0.00	17.64	22.05	26.46	30.87	35.28	38.22	42.63	47.04	51.45	101.43
		G	0.00	22.05	29.40	33.81	38.22	44.10	49.98	55.86	60.27	66.15	130.83
		H	0.00	19.11	24.99	29.40	33.81	38.22	42.63	47.04	52.92	57.33	113.19
		I	0.00	26.46	32.34	38.22	44.10	49.98	55.86	61.74	67.62	73.50	145.53
		J	0.00	19.11	22.05	27.93	32.34	35.28	41.16	44.10	49.98	54.39	105.84
		K	0.00	29.40	36.75	44.10	51.45	57.33	64.68	72.03	79.38	85.26	170.52
		L	0.00	29.40	36.75	44.10	51.45	57.33	64.68	72.03	79.38	85.26	170.52
		M	0.00	14.70	19.11	22.05	26.46	29.40	32.34	35.28	39.69	42.63	85.26
	県外施設	N	0.00	57.33	70.56	85.26	98.49	113.19	126.42	141.12	154.35	169.05	335.16
		O	0.00	16.17	19.11	23.52	27.93	30.87	35.28	38.22	42.63	45.57	91.14
		P	0.00	27.93	35.28	41.16	47.04	54.39	60.27	67.62	74.97	80.85	160.23
		Q	0.00	10.29	13.23	16.17	19.11	20.58	23.52	26.46	29.40	30.87	60.27
		R	0.00	22.05	27.93	32.34	38.22	42.63	47.04	54.39	58.80	63.21	126.42
		S	0.00	27.93	35.28	41.16	47.04	54.39	60.27	67.62	74.97	80.85	160.23
		T	0.00	27.93	35.28	41.16	47.04	54.39	60.27	67.62	74.97	80.85	160.23
U	0.00	22.05	27.93	32.34	38.22	44.10	48.51	54.39	60.27	64.68	129.36		
V	0.00	22.05	29.40	33.81	38.22	44.10	49.98	55.86	60.27	66.15	130.83		

### 3) 結果

感度分析によって得られた結果として、仮設ピットを設置すべき施設およびその容量についてケースごとに整理したものを表 1.2-42 に示す。施設 E 及び H は、大多数のケースにおいて仮設ピットの設置が有効であり、選択される仮設ピットの容量も当該施設の施設規模に対して大きなものと判断されることから、中継輸送の拠点になり得ることが示唆された。また、県東部に整備された施設のうち、施設 A、G、J 及び M においては、被害を免れた際に中継基地としての機能を持つケースがあり、震災時における被害の度合いによっては中継輸送の拠点となる可能性がある。

表 1.2-42 各施設における仮設ピットの選択容量

	5施設の被害	4施設の被害					3施設の被害									
		case1-1	case1-2	case1-3	case1-4	case1-5	case2-1	case2-2	case2-3	case2-4	case2-5	case2-6	case2-7	case2-8	case2-9	case2-10
被害無し	-	A	B	G	J	M	A,B	A,G	A,J	A,M	B,G	B,J	B,M	G,J	G,M	J,M
機能停止	A,B,G,J,M	B,G,J,M	A,G,J,M	A,B,J,M	A,B,G,M	A,B,G,J	G,J,M	B,J,M	B,G,M	B,G,J	A,J,M	A,G,M	A,G,J	A,B,M	A,B,J	A,B,G
東 内 施 設	A 規模:61t/日		24h相当 (61.74t)					11h相当 (29.40ton)	24h相当 (61.74t)	24h相当 (61.74t)	24h相当 (61.74t)					
	B 規模:193t/日															
	C 規模:250t/日	4h相当 (42.63t)														
	D 規模:276t/日															
	E 規模:160t/日	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)		10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)	10h相当 (67.62t)
	F 規模:100t/日															
	G 規模:130t/日				12h相当 (66.15t)				4h相当 (22.05t)			4h相当 (22.05t)			12h相当 (66.15t)	
	H 規模:112t/日	11h相当 (52.92t)	11h相当 (52.92t)	10h相当 (47.04t)	11h相当 (52.92t)		11h相当 (52.92t)	8h相当 (38.22t)	11h相当 (52.92t)		11h相当 (52.92t)	8h相当 (38.22t)		8h相当 (38.22t)		11h相当 (52.92t)
	I 規模:145t/日															
	J 規模:105t/日					4h相当 (19.11t)				4h相当 (19.11t)						
	K 規模:170t/日	7h相当 (51.45t)	4h相当 (29.40t)			10h相当 (72.03t)										
	L 規模:170t/日															
	M 規模:84t/日						8h相当 (29.40t)					7h相当 (26.46t)				7h相当 (26.46t)

※1 灰色のマーカ―は被災対象の5施設を表す。灰色マーカ―で示された施設のうち、×の罫線で示した箇所は機能停止に陥った施設を表す。

※2 東外施設も考慮したが、どのケースにおいても中継基地として機能する施設はなかったため割愛する。

※3 ( )内の数値は増設したピットの容量を表す。

#### 4) 考察

これまでに実施した被災時の最適輸送シミュレーションについて、感度分析を行った結果、これまでの研究結果と同じく、各被災シナリオにおいて、一次輸送で各市町村から近隣の施設へ輸送し、二次輸送で遠くの施設へ輸送することが有効であることが確認できた。本研究においては、施設 E 及び H が重要な拠点となることが明らかとなったが、沿岸部 5 施設が被災したものと設定した以前の研究においても同施設は中継輸送の重要な拠点とされている。すなわち、被害の度合いが変化しても中継輸送の重要な拠点となる施設は大きく変化せず、本研究で示した検討が有用であることが示唆された。

なお、東日本大震災においては、発災前に施設改修のために用意した多目的ピットが一次貯留槽として活用された例があるが、より戦略的に都道府県単位で拠点となるし尿処理施設を検討し、輸送計画を立てていくことが望まれる。またそのような検討結果を踏まえ、平時において、災害時のし尿輸送に関する協力協定等に繋がることを期待される。

#### 5) 課題

今回の検討は静的な（施設停止状態が継続する）条件で行ったため、今後、震災後の時間経過（復旧・復興の進捗状況）を加味した検討が必要と考えられる。具体的には、震災時の状況をよりの確に反映させるため、避難による発生量の変化を考慮することや、施設の復旧、道路の封鎖状況等の情報を組み入れ、より実用的なシステム開発に取り組んでいくことが挙げられる。

#### 6) まとめ

被災時の最適輸送シミュレーションについて、感度分析を行った結果、いずれの被災シナリオにおいても特定の施設が重要な拠点となり得ることが示唆された。従って、本研究で示した検討

方法が有効であり、今後、都道府県単位で拠点となるし尿処理施設を検討して輸送計画を策定するとともに、災害時協力協定等に繋がることを期待される。

## 参考文献

- 1) 井土将博：コンサルタントの立場から見た『災害廃棄物処理計画』のあり方、廃棄物資源循環学会誌、Vol.24 No.6、pp.434-441（2013）
- 2) 西出成臣、荒井康裕、小泉明、田崎滋久：混合 I P モデルによるし尿・浄化槽汚泥の広域処理計画に関する一考察、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 I、pp.296-298（2004）
- 3) 大垣眞一郎：新しい科学・技術としての災害研究、廃棄物資源循環学会誌、Vol.24、No.6、pp.401-402（2013）
- 4) 荒井康裕・梅沢元太・稲員とよの・小泉明・蛭江美孝：災害時における減災を考慮した広域し尿処理の最適化計画、土木学会論文集 G（環境）、Vol.70, No.6（環境システム研究論文集 第 42 巻）、II\_393-II\_401, 2014
- 5) (公財)廃棄物・3R 研究財団：平成 24 年度し尿・浄化槽汚泥からのリン回収・利活用推進検討業務 報告書、pp.118-119, 2014

### 1.2.6 アジア地域に対応した災害廃棄物管理システムの構築

アジアの都市においては、自然災害や大規模疫病の流行など、突発的な廃棄物量の増大に伴って都市機能が著しく低下することが報告されている。本節では、アジア地域に対応した災害廃棄物管理システムを構築し、国内外における自然災害・家畜伝染病の大規模流行に起因する廃棄物の適正な管理方策を提示するとともに、その管理過程における環境負荷の排出挙動について実態調査を進める。我が国の災害廃棄物ならびに腐敗性廃棄物管理に関する技術・システム移転に向けた検討を実施し、災害廃棄物管理に関する我が国の経験を、アジア地域で頻発する自然災害時における廃棄物の適正管理に生かすための現地適合化に向けた情報提供を行う。

#### (1) 水害廃棄物の適正管理

水害が頻発するアジアの大都市（バンコク）、中小都市（アユタヤ、フエ）を対象として、水害廃棄物の管理実態に関する実地調査を行った。水害廃棄物の排出量推計を精緻化するための地理的および統計的な情報収集を行った。水害に対するアジア都市の廃棄物管理計画の脆弱性を評価する手法の開発を進めた。

##### 1) 中小都市における水害廃棄物対策に関する情報収集

ベトナム・フエおよびタイ・アユタヤにおいて、水害被害の推計に必要な地図・統計情報や、早期警戒のための情報ツール、初動および長期的な被害軽減のための準備状況について、廃棄物管理に関わる項目を中心にリスト化した（表 1.2-43）。

表 1.2-43 アユタヤおよびフエにおいて収集された水害関連情報一覧

Basic information	Map with elevation of municipality, including area of upstream of the river	Waste management related information/data	Current flood waste management plan
	Annual population of municipality past 10-20 years		Current waste management plan
	Age variance of population in municipality		Legislation related to waste management
	Number of household, restaurants, hotels, shops		Organization functions and roles in disaster waste management
	Waste management related organization and its roles and responsibilities		Budget allocated to the solid waste management in a year
	facility deals with hazardous substances		staffs in charge of waste management
	Land use map of municipality		waste generation from household
	Land area plotted for an emergency case		waste generation from shop/ hotel/ restaurant
	GIS/hazard maps		hazardous waste generation
	Meteorological data of the municipality		municipal waste generation
	Hospital which disposes medical waste		debris generation during flood
	Location of the public property area		municipal solid waste landfilled
	Industry in the municipality		municipal solid waste recycled
	Annual special events in the municipality		Category of waste recycle
	Climate change scenarios for municipality		Vehicle/boat available for MSW collection
	Road network of municipality and surrounding		Vehicle/boat available for hazardous waste collection and the capacity
	Isolation situation of travelling during flood in the municipality		Vehicle/boat available for medical waste collection and the capacity
	Public service centers with high waste generation in the municipality		Frequency of waste collection from household and business
	Flood control related information/data		annual water level records
historical records of flood		waste discharged during/after flood	
Record of flood duration in city area		Handling of hazardous waste in past flood	
Record of area the water stayed		waste generation from affected area	
Inundation maps of the municipality		historical cases of flood waste management	
Upstream hydrological data records during flooding time		Communication to the local residents in handling waste	
	Contract with public sector for waste clearance		
	MSW collection system		
	Temporary storage of waste during/after flood in the past		

## 2) 都市廃棄物管理の水害に対する脆弱性評価ツールの開発

水害時の都市廃棄物管理システムにおける弾力性・脆弱性を診断するための評価ツールの策定を目的として、2011年タイ大洪水における行政およびコミュニティの洪水廃棄物への対応実態を調査した。その情報をもとに脆弱性評価の項目と優先度を検討し、水害廃棄物への事前対策・事後対応のあり方（指揮系統、予算・人員確保、物流管理、現場管理、計画立案など）や脆弱性評価ツールの素案を構築した（図 1-2-50）。



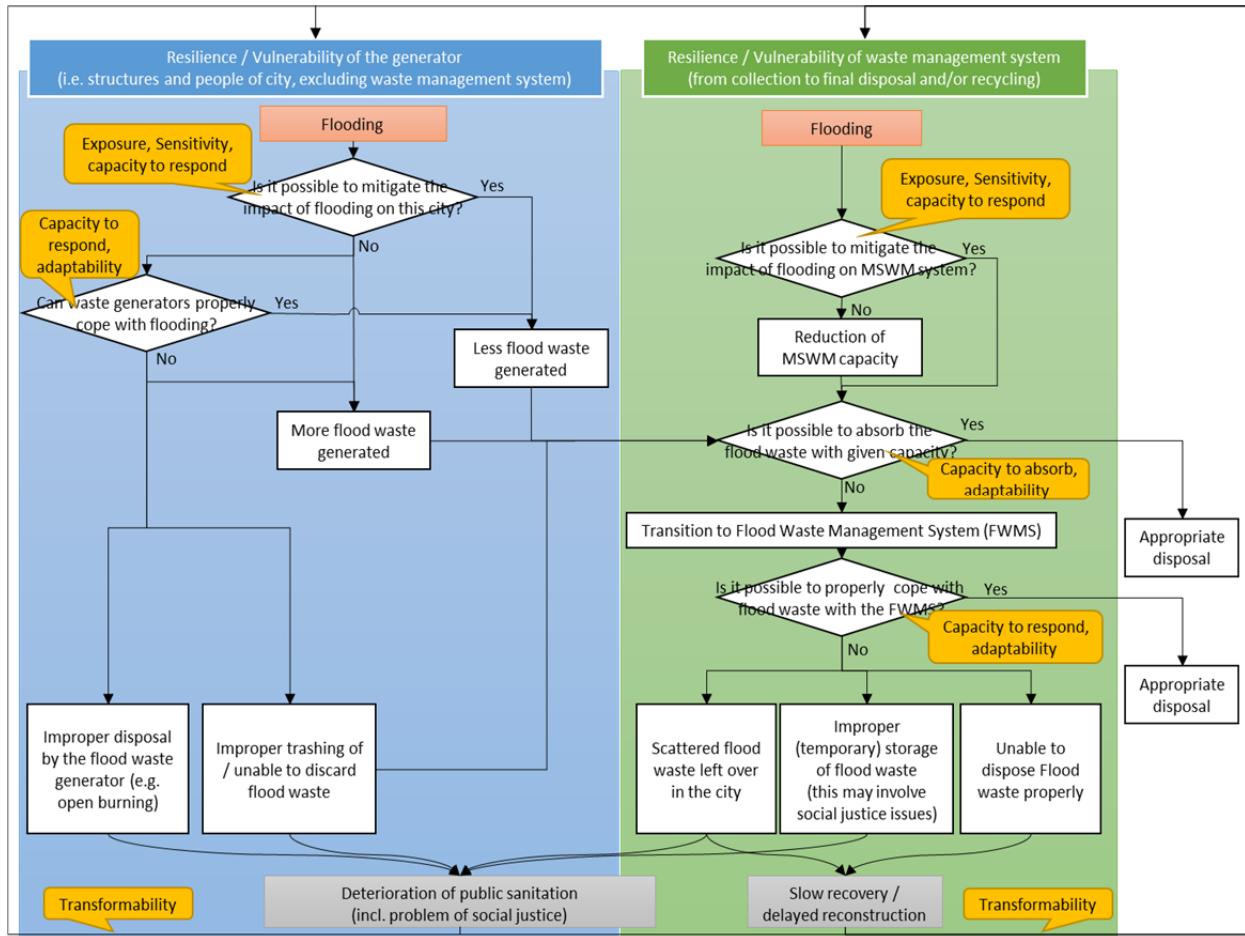


Fig. Linkage of vulnerability to the outcome of flood waste management. Reduction of vulnerability leads to higher possibility of following “yes” path.

図 1-2-50 都市廃棄物管理の水害に対する脆弱性評価の概略

## (2) 腐敗性廃棄物の適正管理

旧警戒区域内で一時的に殺処分され埋設された家畜類について、短期間での衛生的な減容化手法を検討した。埋設された動物死体の掘削および生物処理に関する実証試験を行い、減量化の挙動、放射性物質の濃縮、作業安全上の留意点についてとりまとめた。また福島県内で埋設処分された動物の死体の処理について、実事業として実施する際の技術上の留意点等を取りまとめた。

### 1) 調査方法

#### (a) 発酵処理槽等整備

動物の死体の発酵処理に最適な運転条件を求めるために、試験に必要な通気システムを備えた発酵処理槽、混合槽ならびにモニタリングに必要な付帯装置等を整備した。

#### (b) 埋設動物の掘削

埋設動物はバックホウによる掘削を行った。掘削にあたってはブルーシート等の梱包資材をみだりに破損しないよう留意した。動物の周囲に体液の漏出によって黒変した土壌もあわせて処理対象とした。動物の腐敗状況も鑑みて、掘削現場において概ね 1:1 となるよう混合し、流動性を低下させた上で発酵槽に移送した。

### (c) 発酵槽への投入、維持管理および環境測定

掘削された埋設死体と土壌の混合物に対して、種菌を 1.1-1.5 の比率で混合した。全体を 12t 前後、水分を 40%となるよう調製した上で発酵槽に投入し通気を開始した(図 1-2-51)。投入時には重機にて可能な限り動物の裁断/粉砕を行い、骨皮などが表面に露出しないよう留意する。発酵槽での発酵減容化状況に応じて一週間に一回程度の頻度で切返しを行った。温度および水分について定期的に計測を行った。また、周辺環境影響の防止と作業安全性の確保に向けて、粉塵、臭気、空間線量の排出に関するモニタリングを実施した。



図 1.2-51 生物処理の状況

## 2) 生物処理による減容化挙動

埋設動物および土壌の生物処理において 80°C以上の高温が 3 週間以上維持された(図 1.2-52)。切返し時の目視観察では、投入から約 2 週間で内臓、表皮等は消滅し、大型の骨が残るのみとなった。その後 2-3 回の切返し作業により徐々に骨は脆くなっていた。7 週間後の物質収支では埋設動物および汚染土壌由来の有機物のうち 92%が無機化されたことが明らかにされた。

生物処理開始後 2 週間程度までの期間は、埋設死体特有の不快臭が感じられ、その原因と考えられるノルマル酪酸 0.7ppb、ノルマル吉草酸 0.9ppb 等の脂肪酸が検出されたが、処理が進むにつれて検出されなくなった。一方、切り返し作業時は、メチルメルカプタン 6.8ppb、硫化メチル 5.6ppb 等の硫黄系ガスやアンモニアが検出された。高温好気性発酵により埋設死体や汚染土壌を処理する場合には、悪臭物質の発生が避けられず、作業従事者の対策とともに、適切な換気・排ガス処理を行う施設を併設することが必要である。生物処理における定常時は施設内外部の粉じん濃度は約 0.05- 4.6 mg/m<sup>3</sup>に留まるが、切り返し時には、光散乱式デジタル粉塵計で 17.7mg/m<sup>3</sup>、インハラブル粉塵計での粉じん 27.0mg/m<sup>3</sup>が検出された。いずれも高濃度粉じん作業 (>10mg/m<sup>3</sup>) に該当するため、作業従事者は捕集効率 90%以上の防塵マスクを着用することが好ましい。

投入された掘削試料および種菌の放射性物質濃度は 1350Bq/kg および 50Bq/kg であり、処理後残さは 740Bq/kg であった。処理前後での放射性物質総量に変化はなく、外部への漏出はないと考えられたが、減量化に応じて残さ中の放射性物質は濃縮する結果となった。当該レベルの暴露で

あれば、生物処理の主体である微生物群集は影響を受けずに、処理性能を発揮できることが示された。ただし、生物処理を半連続的に実施する場合、残さの種菌としての戻し利用により放射性物質濃度の濃縮が進むことが懸念される。作業安全及び最終的な濃度管理を考慮すると、繰り返し利用の回数には制限を設けるべきであると考えられる。

病原性細菌の調査の結果、掘削された埋設動物および汚染土壌からはガス壊疽菌群と近縁の菌及び豚丹毒菌の遺伝子が検出された。これらは発酵過程の高温条件下において徐々に減少するが、豚丹毒菌は4週間程度、ガス壊疽菌群は6週間程度までの残渣から検出された。発酵終了時の残渣からは病原菌遺伝子は検出されなかった。すなわち、減量化に加えて病原菌の死滅のための処理期間を確保することが必要であるといえる。

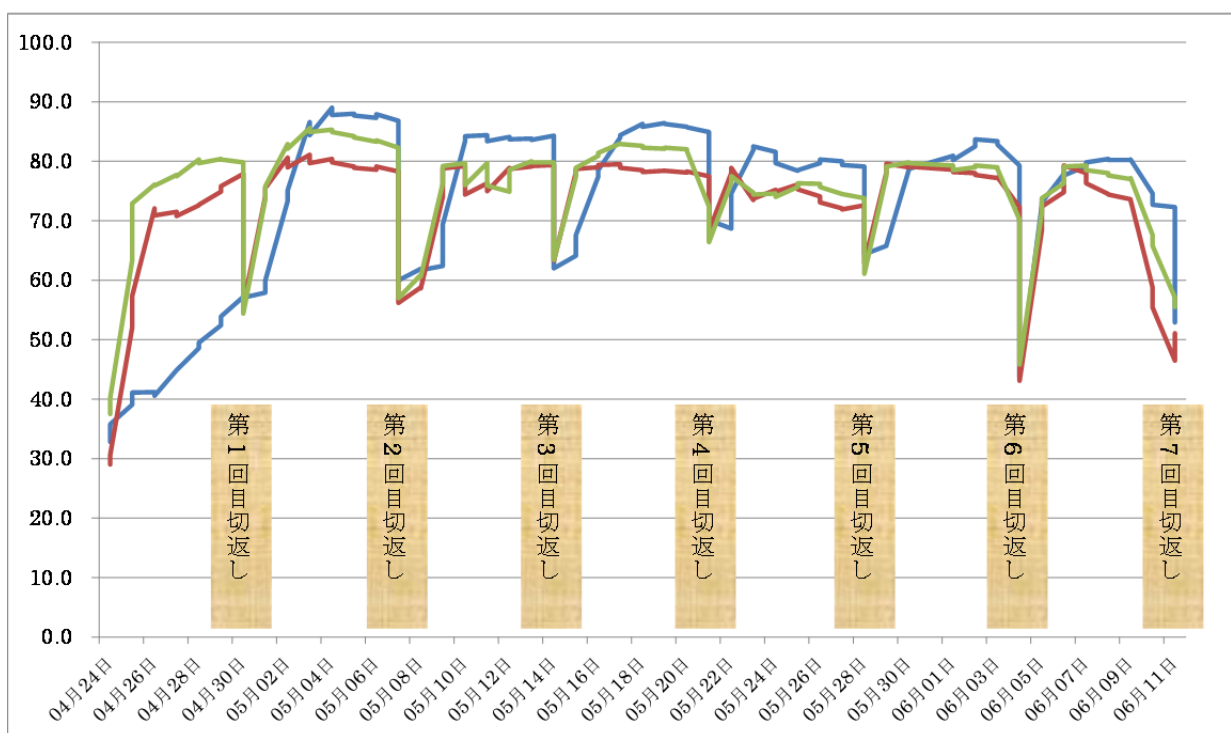


図 1.2-52 埋設動物の生物処理過程における温度変化

### 1.3 災害廃棄物処理に係るマクロ・ミクロ両面からの制度・マネジメントの確立

#### 1.3.1 災害廃棄物分野の日本型標準的なマネジメントシステムの構築

##### (1)はじめに

災害時における災害廃棄物処理に係る業務は、基礎自治体においては、平時とは異なる災害時特有の業務となる。つまり、平時の廃棄物行政の延長ではなく、廃棄物部局、環境部局における災害対応業務として実施することが必要である。したがって、事前に予知することが困難であり、咄嗟に判断することの連続であり、拙速を旨とすることが求められる。さらに、規模や業務対象範囲が想像を超えるため、部局や組織を超えた関係部局や機関との連携や提携が必要不可欠である。したがって、災害時においても、市民や社会との信頼関係を構築し、適正な廃棄物処理という事業活動を通じて、市民や社会の環境衛生での安全・安心を供与するというミッションという観点からは、災害廃棄物処理に係る技術システム、業務、制度などの日本型標準的なマネジメント手法を構築することが必要である。

##### (2)インシデント・コマンド・システムに基づく災害対応

災害対応マネジメントにおいては、1970年代に米国において開発された標準化されたマネジメントシステムであるインシデント・コマンド・システム（ICS）が、消防機関を中心として世界的に標準なシステムとして用いられている。米国においては、2004年に制定された米国インシデント・マネジメント・システム（NIMS）<sup>1)</sup>で、あらゆる災害や緊急事態に対してICSを適用することが定められており、水道事業体においても日常の事故、ハリケーン災害、地震災害などのあらゆる危機事態対応で使用されている。つまり、米国においては、災害時の応急給水対応においても、ICSに基づき実施されることとなる。

ICSの特徴として、5つの組織機能、Command（指揮命令）、Operation（実行）、Planning（計画情報）、Logistics（後方支援）、Finance/Administration（財務・総務）が明確に定義されていること、組織の構築方法や名称、用語が統一、標準化されていること、Incident Action Plan（IAP、現場作業計画）の様式が統一化されていること、通信方法などのルールが統一化されていること、現場指揮官への権限委譲がシステムに組み込まれており、あらゆる現場対応の意思決定者が現場指揮官であること、などがあげられる。例えば、5つの組織機能については、広報渉外（Public Affair）を加えた6つの組織的機能が東日本大震災での災害対応においてみられた組織的機能体系においても示されている<sup>2)</sup>。図1.3-1に東日本大震災における災害廃棄物処理に係る組織的機能体系を示す。



図 1.3-1 6つの組織的機能と東日本大震災における災害廃棄物処理に係る組織的機能体系



また、例えば、米国ロサンゼルス市水道電気局では、ICSに基づき、図 1.3-2 に示す Operational Planning P として緊急事態対応システムが定められている<sup>3)</sup>。ここでは、誰が、何を、いつ、どのようにするのが明確に示されているとともに、達成すべき目標を定め、IAP を策定、承認、実行、評価、改善・更新という緊急時の PDCA のプロセスが組み込まれている。

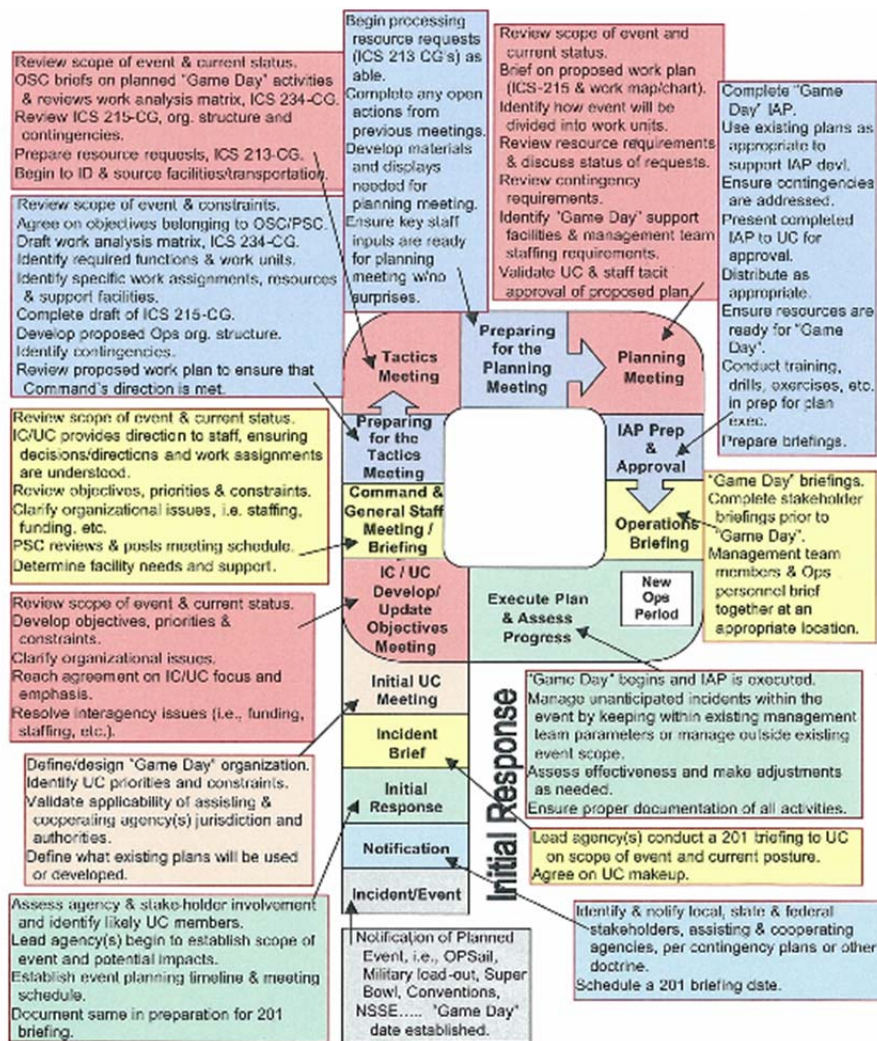


図 1.3-2 米国ロサンゼルス市水道電気局における Operational Planning P システム<sup>3)</sup>

そして、NIMS では、環境部局や地方政府の緊急事態対応だけでなく、州政府・連邦政府による支援プロセスなども定められている。ここでは、現場指揮官が現場対応の意思決定者であり、州政府や連邦政府などの上位組織は、現場指揮官からの要請に応じて支援することとなっている。つまり、現場対応において、人や資機材等の資源が不足した場合、現場指揮官は、地域の Emergency Operation Center (EOC, 緊急事態センター) に支援を要求する。それを受けて、地域の EOC は、州の EOC に対して必要に応じて支援を要求するとともに、それでも不足する場合については連邦政府に対して支援を要求する。そして、これらの支援に対応するための担当組織や役割について、表 1.3-1 に示す Emergency Support Function (ESF, 緊急事態支援機能) で定められている。したが

って、災害廃棄物処理については、これらの ESF#3 の公共・技術支援、ESF#10 の油及び危険物対応支援の枠組みで実施されることとなる。

**表 1.3-1 米国インシデント・マネジメント・システム (NIMS) における緊急事態支援機能**

ESF#1	Transportation (輸送支援)
ESF#2	Communications (通信支援)
ESF#3	Public Works and Engineering (公共・技術支援)
ESF#4	Firefighting (消防支援)
ESF#5	Information and Planning (情報及び計画支援)
ESF#6	Mass Care, Emergency Assistance, Housing and Human Services (避難支援)
ESF#7	Logistics Management and Resource Support (補給支援)
ESF#8	Public Health and Medical Services (公衆衛生支援)
ESF#9	Search and Rescue (搜索救助支援)
ESF#10	Oil and Hazardous Materials Response (油及び危険物対応支援)
ESF#11	Agriculture and Natural Resources (農業支援)
ESF#12	Energy (エネルギー支援)
ESF#13	Public Safety and Security (公衆安全支援)
ESF#14	Long Term Community Recovery (長期的復興支援)
ESF#15	External Affairs (対外調整支援)

災害廃棄物処理という視点からは、FEMA (Federal Emergency Management Agency, 米国連邦危機管理庁) において、災害廃棄物マネジメントガイドライン 4) が示されており、がれき撤去に係る公的補助、災害廃棄物処理計画、連邦政府対応について述べられている。災害廃棄物処理計画においては、1) 役割分担、2) 量的質的推定、3) 収集、4) 仮置場、5) 災害廃棄物の減量、再利用、処理、6) 契約事案、7) がれき撤去の進捗管理、8) 家財等私有財産に係る解体と撤去、9) 健康管理、10) 広報に関する手法やチェックリストが示されている。また、USEPA (US Environmental Protection Agency, 米国環境保護庁) において、自然災害によるがれき処理計画ガイドライン 5) が提示されている。

### (3) 災害廃棄物の対応力の向上にむけて

2011 年東日本大震災の経験を踏まえ、平成 25 年に南海トラフ地震対策特別措置法、首都直下地震対策特別措置法及び国土強靱化基本法が改正、制定された。また、内閣官房に設置された国土強靱化推進本部が中心となり、国土強靱化政策大綱が公表され、災害廃棄物対策が巨大災害時の重要な施策として位置づけられている。

環境省においては、南海トラフ地震や首都直下地震による災害廃棄物の発生量の推計や既存の廃棄物処理施設における処理可能量の試算等の検討を踏まえて、巨大災害への対応を考慮した総合的な災害廃棄物対策の基本的な方向について、グランドデザインとして取り纏められた。ここでは、1) 膨大な災害廃棄物の円滑な処理の確保、2) 東日本大震災の教訓を踏まえた発災前の周到

な事前準備と発災後の迅速な対応、3)衛生状態の悪化、環境汚染の最小化による国民の安全・健康の維持、4)強靱な廃棄物処理システムの確保と資源循環への貢献、5)大規模広域災害を念頭に置いたバックアップ機能の確保、という5つの事項について、巨大災害の発生に向けた対策のあるべき方向が示されている。

また、制度的な側面からの論点整理を踏まえた巨大災害時発生時の災害廃棄物処理の基本的考え方として、対策スキームが整理され、大規模災害対策についての発災前の備え、発災後の対策それぞれについて、1)各主体が備えるべき大規模災害特有の対策、2)都道府県境を超えた連携、わが国の7つの地域ブロックにおける行動指針策定のための指針、3)国が発災後に速やかに処理に関する指針、つまり、その災害をどのように乗り越えるのかというマスタープランを策定するための指針、4)通常規模の災害への備え、について述べられている。また、災害が発生した後に柔軟な対応を確保するための特例的な措置についても検討されている。

そこでは、災害前の災害廃棄物処理計画と災害時の災害廃棄物処理実行計画が示されている。災害前の災害廃棄物処理計画とは、地域防災計画や地域における廃棄物処理システムや中期計画と連動しながらも、対応マニュアルや実行計画策定手順、初動体制構築の手順を定め、相互応援協定による外部関係機関との連携とともに、中間処理整備などの中長期的な施設・設備や装備整備計画を含む、事業者の災害廃棄物処理に係る対応力を向上するための方策を示したものである。したがって、これまでの初動や参集体制、連絡体制の構築や相互応援協定の締結とともに、計画文書や報告書、さらには契約書などの書式様式、廃棄物部局や環境部局における災害対策本部のレイアウトや人員配置、また、図1.3-3に示すような我が国の組織体系に準じた災害廃棄物処理実行計画の策定手順についても具体的に定めておくことが必要であろう。

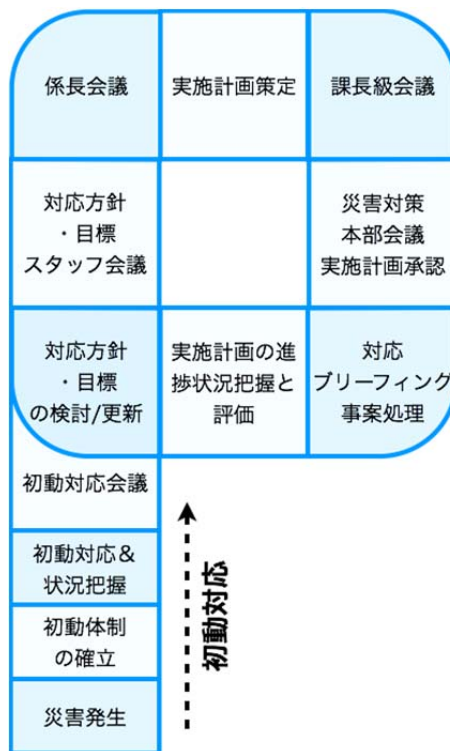


図 1.3-3 災害廃棄物処理実行計画策定マネジメントシステム



この実行計画策定の例においては、誰が、いつ、どのように、何をするのかを明確にするとともに、災害廃棄物を処理するための具体的な目標や対応方針を明確にすること、災害廃棄物実行計画を誰がどのようにどんな文書で策定するのかを示すこと、その実行計画を災害対策本部会議で承認したうえで、共有すること、進捗状況、被災者ニーズや現状を把握し、評価すること、対応方針・目標の検討や更新から状況把握と評価のサイクルを定期的実施すること、などがその特徴としてあげられよう。また、災害廃棄物処理実行計画は、災害発生後に災害廃棄物処理計画に基づき策定されるものであり、当該の事態をどのように克服するのかの方策を具体的に示すものである。つまり、災害廃棄物処理計画はさまざまな災害事象を対象とするが、災害廃棄物処理実行計画は、災害の種類や規模に応じてその都度策定されるものである。災害廃棄物処理実行計画には、被害状況や現状を踏まえた達成すべき目標や対応方針、組織図、人や装置などの配備計画、給水タンク車などの配車計画、応援事業体や自衛隊など外部機関との連携を図る受援計画、さらには市民や関係機関への広報について記載することが求められよう。

また、継続的に廃棄物・環境部局における災害対応力を向上するためには、平時からの取り組みが必要不可欠である。つまり、災害が発生してからではなく、普段の机上演習や図上演習の機会を捉え、災害廃棄物処理計画をためすことが必要である。そこでは、災害想定や被害想定から、処理計画に基づき実際に処理実行計画を策定するのである。そして、その策定した実行計画に基づき、現場で実施したり、コミュニティや関係機関と訓練を行ったりする。そのうえで、実施結果や訓練結果から、グッドプラクティスや改善点を抽出し、処理計画と処理実行計画の評価・検証を行う。さらに、過去の災害事例や対応事例などのから学習し、応急給水計画を見直し、改善、更新するのである。したがって、図 1.3-4 に示す災害時の災害廃棄物の対応力向上の取り組みを、基礎自治体を中心としてその地域においていかに実践していくか、が重要である。

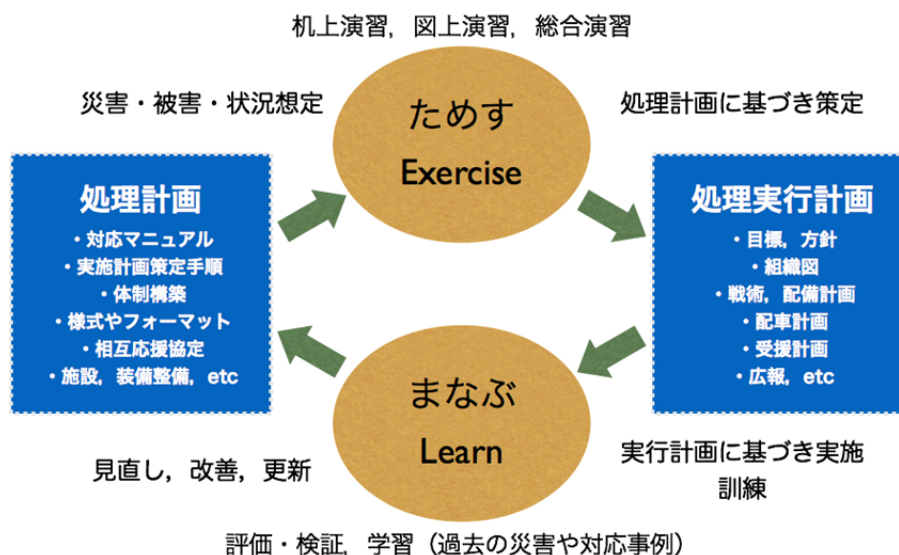


図 1.3-4 継続的な災害廃棄物対応力の向上

## 参考文献

- 1) FEMA (2015). National Incident Management System.  
<https://www.fema.gov/national-incident-management-system> (accessed 2015-04-02).
- 2) 多島良, 平山修久, 大迫政浩 (2014) 災害廃棄物処理に求められる自治体機能に関する研究—東日本大震災における業務の体系化を通じて—. 自然災害科学, 33, 153-163.
- 3) LADWP (2013) Emergency Response Operations for LADWP's Water System, 2nd Workshop on International Research. Development, and Implementation in Water System for Disaster Prevention & Preparedness.
- 4) FEMA (2007) Public Assistance Debris Management Guide, FEMA-325/July 2007.
- 5) EPA (2008) Planning for Natural Disaster Debris Guidance, EPA530-K-08-001.

### 1.3.2 効果的な災害廃棄物処理計画策定に向けたマネジメント研究

#### (1) 業務機能研究

##### 1) 目的

災害廃棄物の処理を円滑かつ適正に進めるためには、撤去、処理、最終処分という廃棄物管理の流れだけではなく、それに付随する資機材の調達や庶務等についても事前に検討し、準備を進めることが重要である。本研究では、これら災害廃棄物処理に係る業務を実施するために必要となる機能の全体像を、東日本大震災における災害廃棄物処理業務から明らかにした。以下、多島ら (2014) に取りまとめられた成果の概要を示す。

##### 2) 研究の枠組み

個々の災害で災害廃棄物処理業務の具体的な中身は変わるが、個別具体の業務を体系化することを通して、業務を実施する働きとしての機能の体系を明らかにすることが可能と考えた。ここでは「機能」を「実施される業務を組織体系の視点からとらえた、それぞれの組織が有する働き」と定義する。

まず、災害廃棄物処理に求められると考えられる機能体系の仮説を表 1.3-2 の通り設定した。これは、米国における標準的危機対応システムである Incident Command System (ICS) の機能別組織体系を参考に、災害廃棄物処理の文脈に合わせて変更を加えたものである。これに対し、東日本大震災における具体的な災害廃棄物処理業務を当てはめることで、機能体系の仮説を検証した。災害廃棄物処理業務を調査する対象は、比較的行政資源が豊富であったことから、実施された業務範囲が広いと目される A 市を取り上げた。環境省が設定した 3 年という目標期限内の処理を達成するとともに、84%という高い再生利用率を実現するなど、環境面の配慮も適切になされた例である。

データは、災害廃棄物処理業務をマネジメントする立場にあった職員に対する詳細なヒアリング調査 (平成 24 年 11 月 12 日、平成 25 年 8 月 22 日、平成 26 年 2 月 14 日、平成 26 年 2 月 27 日)、A 市発行の震災記録誌を含む関連資料の調査より得た。ここから、「～が始まった」、「～した」などの形で表現される個別業務を抜きだし、表 1.3-2 に示す災害廃棄物処理に求められる機能の定義に応じ、個別業務をサブ機能レベルで分類した。いずれのサブ機能にも該当しない場合

には、新たな分類を設けた。サブ機能レベルでまとめた個別業務は、その類似性からまとめ、抽象化することで、さらに下位の機能（「単位機能」）を特定し、その妥当性を個別に考察した。

**表 1.3-2 本研究で想定する災害廃棄物処理に求められるサブ機能とその定義**  
(多島ら、p157、2014)

基本機能	サブ機能	定義
指揮調整	目標設定	災害廃棄物処理の目標（処理の目標期間など）を設定すること
	広報	災害廃棄物処理に関する情報を市民、メディアに対して発信すること
	渉外	交渉・要請・対応など、組織外の主体とやり取りすること
	内部調整	組織内で、業務に関連する調整を行うこと
情報作戦	計画策定	目標達成に向けた行動計画を作成することと、関連文書を管理すること
	情報収集	被害情報、利用可能資源の情報を含む、他の機能を支援する情報を集めること
	情報分析	集めた情報を分析すること
	情報共有	集めた情報や、情報分析の結果等を、災害廃棄物対応関係者に共有すること
	技術支援	災害廃棄物処理について技術的な支援・助言を行うこと
資源管理	人材	人材の調達と管理（安全面や健康面の管理を含む）を行うこと
	資機材	車両、重機、資機材（コミュニケーションに係る装備も含む）の調達と配分を行うこと
	施設	施設（仮置場を含む）の設置、運営管理、撤去（原状復旧を含む）を行うこと
庶務財務	資金調達	組織の内外から災害廃棄物処理業務に充てる資金を確保すること（補助金の獲得を含む）
	契約	積算、発注、締結を含む一連の契約関連行為を実施すること
	支払	契約の内容に沿って、費用を支払うこと（支払いの根拠となる労働時間管理を含む）
事案処理	撤去	災害廃棄物を発生現場から取り除き、集積場所まで運搬すること
	保管	撤去された災害廃棄物を中間処理または最終処分されるまでの間、保管すること
	分別	災害廃棄物を性状や処理方法に応じて分けること
	中間処理	分別された災害廃棄物を、処分可能な形に処理すること
	最終処分	中間処理された災害廃棄物を、最終処分先や利用先に引き渡すこと

### 3) 結果及び考察

調査の結果、146 の災害廃棄物処理に係る個別業務を特定できた。これらの個別業務を機能仮説に応じて分類した結果、141 (97%) は表 1.3-2 に示したいずれかのサブ機能に該当した。また、二つ以上のサブ機能にまたがって該当する業務は見られなかった。該当するサブ機能がなかった業務は、「仮置きした災害廃棄物の後方輸送」、「コールセンターの設置」、「生活環境影響調査の公告規定の改正」、「家屋解体情報管理システムの導入」、「災害廃棄物処理情報システムの導入」であった。1 点目は「保管」と「中間処理」の間を結ぶ「移送」という事案処理のサブ機能と考えられる。他の3点は、いずれも大きな意味では処理を支える仕組みの構築や改変であるという共通点があることから、「システム」という資源管理のサブ機能としてまとめた。この結果、すべての個別業務が指揮調整、事案処理、資源管理、庶務財務、情報作戦のいずれかの基本機能に分類された。このため、災害廃棄物処理に求められる機能を体系化する枠組みとして、ICS に基づく5つの災害対応機能は有用であるといえよう。

図 1.3-5 から図 1.3-9 に、基本機能別にサブ機能-単位機能-個別業務の体系化の結果を示す。

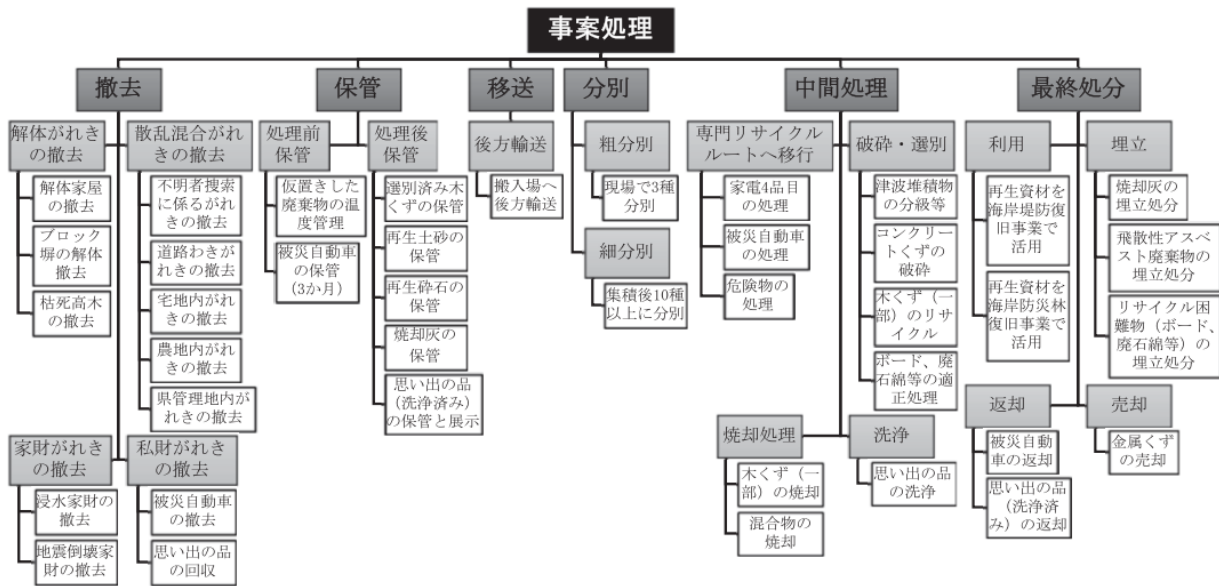


図 1.3-5 事案処理に係る業務・機能の体系化の結果 (多島ら、p159、2014)

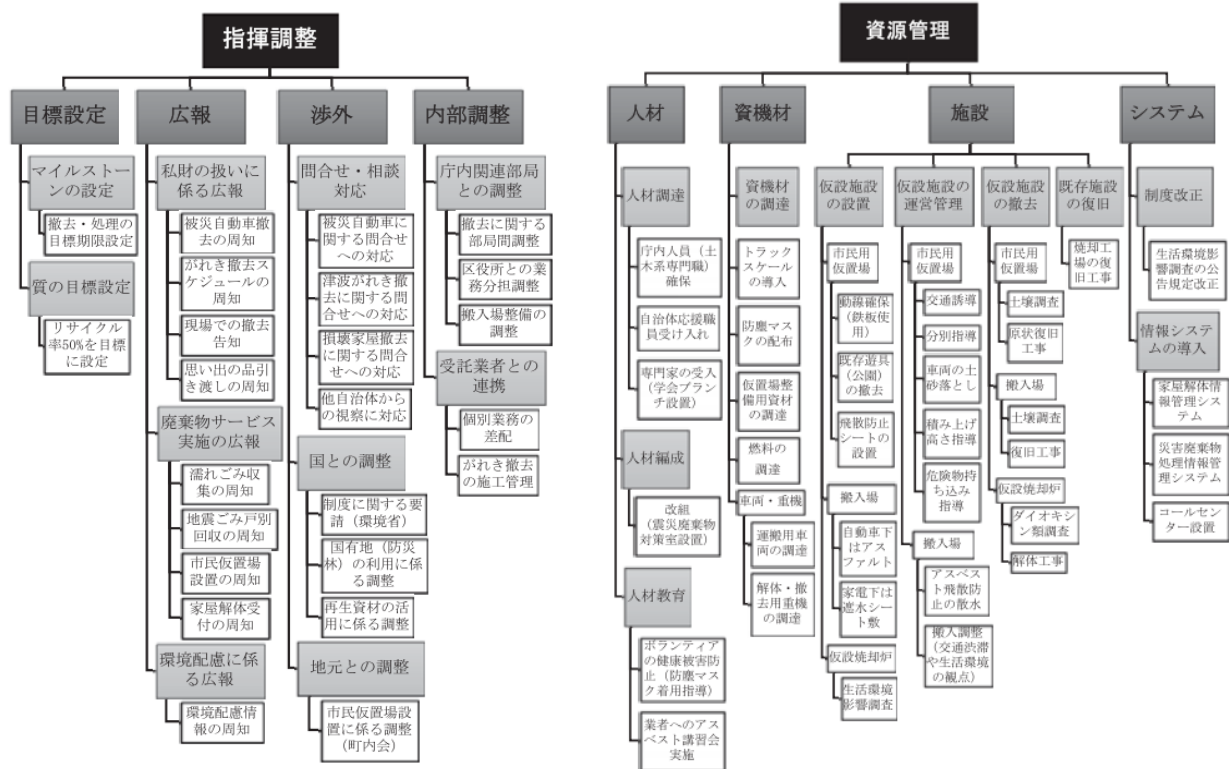


図 1.3-6 指揮調整に係る業務・機能の体系化の結果 (多島ら、p159、2014)

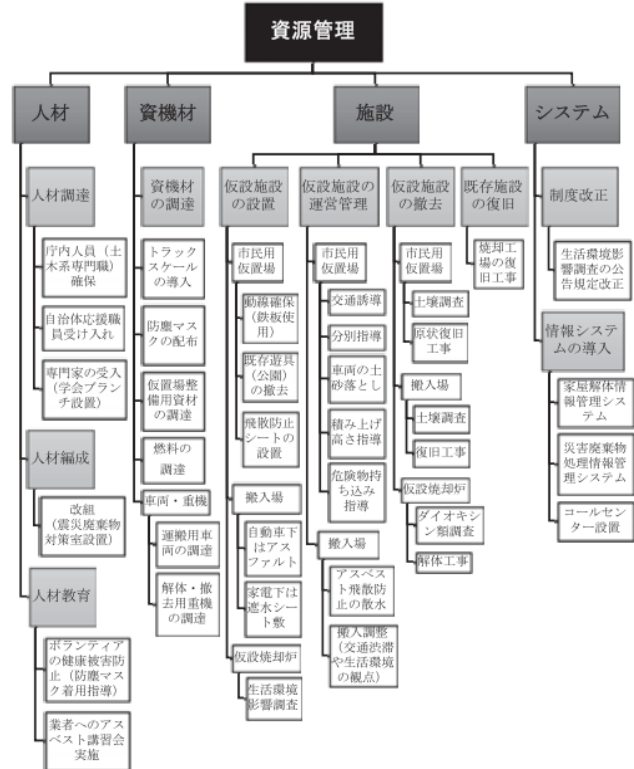


図 1.3-7 資源管理に係る業務・機能の体系化の結果 (多島ら、p160、2014)

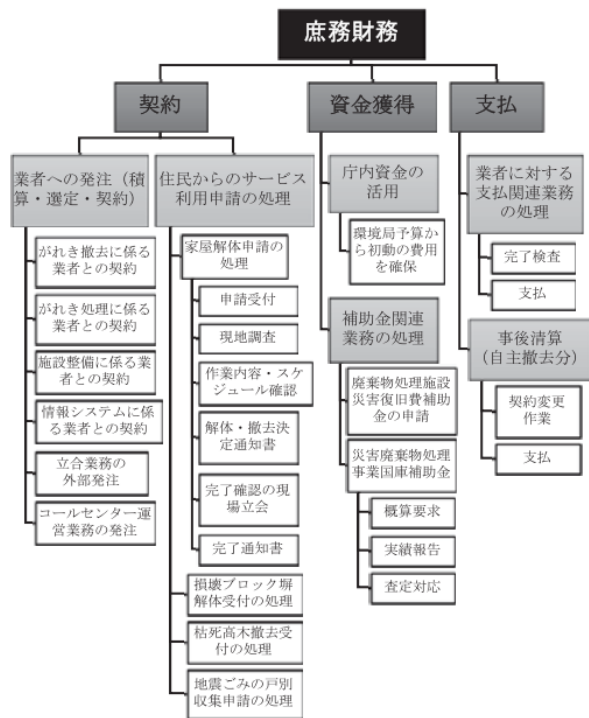


図 1.3-8 庶務財務に係る業務・機能の体系化の結果（多島ら、p161、2014）

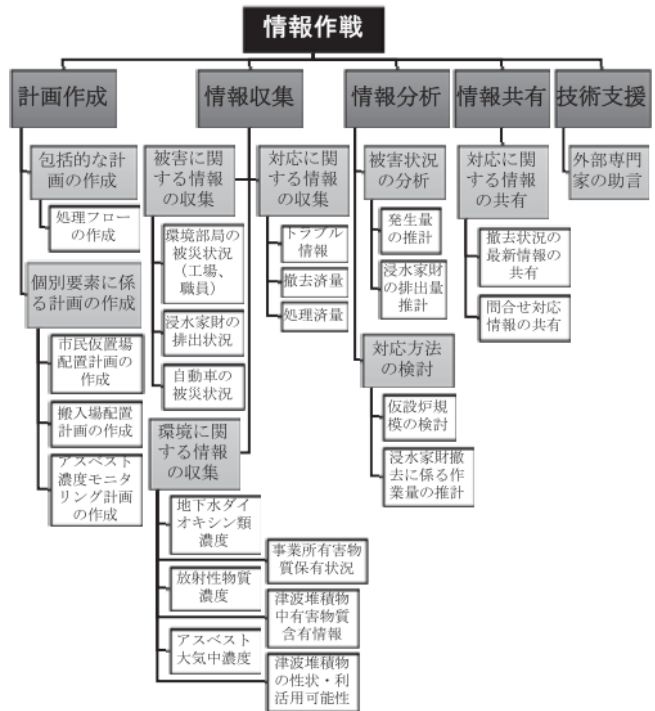


図 1.3-9 情報作戦に係る業務・機能の体系化の結果（多島ら、p161、2014）

災害廃棄物の処理には、撤去から最終処分に至る廃棄物の処理プロセスに係る「事案処理」以外にも、目標の設定、広報、国や住民等との渉外、内部調整に係る「指揮調整」、人材、資機材、施設、情報システムや制度を含むシステムの調達・設置・運営・管理に係る「資源管理」、事業者や住民との契約、支払と業務実施に係る資金の獲得（補助金等）に係る「庶務財務」と、計画作成と、処理や環境保全に関連する情報の収集・分析・共有と専門的助言を行う技術支援に係る「情報作戦」の4つの機能が求められることが分かった。ICSが40年以上の運用経験を持つ災害対応の枠組みであることを考えれば、表 1.3-3 に示すサブ機能レベルまでは説得力のある機能体系を示すことができたといえよう。一方、単位機能は1事例から抽出された複数の個別業務を統合することで経験的に導出されている。分析対象としたA市は広範な災害廃棄物処理業務を広範に実施した事例と考えられることから、幅広く単位機能を特定することができたと考えられるものの、東日本大震災では、A市以外の市町村においては、東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法（東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法（平成23年法律第99号））に基づき、災害廃棄物処理業務を県に委託した事例や、国が代行する業務として実施するなどの対応がなされた事例もあった。このことから、例えば、指揮調整において「県との調整というサブ機能が見られなかったなど、他の事例における単位機能が特定できていない可能性はある。したがって、特に単位機能レベルでは、他の事例についても分析することを通じて、本研究で得られた機能構造の必要十分性を検証していく必要はある。

表 1.3-3 災害廃棄物処理に係る基本機能、サブ機能の体系

事案処理					指揮調整			資源管理				庶務財務			情報作戦						
撤去	保管	移送	分別	中間処理	最終処分	目標設定	広報	渉外	内部調整	人材	資機材	施設	システム	契約	資金獲得	支払	計画作成	情報収集	情報分析	情報共有	情報支援

#### 4) 結論

本研究では、東日本大震災において実際に行われた災害廃棄物処理業務を体系化することで、災害廃棄物処理に求められる機能を明らかにした。まず、災害廃棄物処理業務を体系化する上で、ICS の 5 機能である指揮調整、事案処理、資源管理、庶務財務、情報作戦が最も基本的な枠組みとして有用であることが示された。また、同枠組みを用いて実際の災害対応経験を分析することで、災害廃棄物処理に求められる機能を基本機能、サブ機能、単位機能の 3 階層で具体的に明らかにすることができた。特に、表 1.3-3 に示すサブ機能までの階層については、一定の普遍性を持つ機能体系であるといえよう。

### (2) 廃棄物分野における脆弱性評価

#### 1) 目的

今後発生することが予想されている大規模災害に備え、わが国では現在、国土強靱化の施策他進められつつある。この基本として、社会の脆弱性を評価し、必要な政策の見直しや優先順位付けを行なう脆弱性評価が行われている。この中で、廃棄物分野についても脆弱性評価が行われているものの、議論の包括性に疑問が残る。このため、災害廃棄物処理のマネジメント面（業務体系等）と技術面の適切な理解と、脆弱性や強靱性といった概念の正しい理解に立脚して脆弱性評価の枠組みを再検討することが求められる。ここでは、文献調査にもとづく概念整理を行い、我が国の廃棄物分野における脆弱性評価の展望を示した多島・大迫（2014）の概要を示す。

#### 2) 既存研究における脆弱性とレジリエンス

脆弱性の概念は、防災、途上国開発、地球環境変動を含む様々な分野で議論されてきたが、共通理解としての定義には至っていない。例えば、防災分野においては、国連国際防災戦略事務局（UNISDR）が「ハザードによる破壊効果に対して被害を受けやすくなるようなコミュニティ、システムあるいは資産の特性及び状況」と定義し、災害リスク（ダメージ）を脆弱性とハザード（の発生確率と強度）の積と捉えている。脆弱性の概念に何を含めるかという点については論者（研究分野）によって異なるものの、外力への曝露（exposure）、外力に対する感受性（sensitivity）、外力への対応力（response）や適応力（adaptive capacity）によって構成されるという点については、おおむね一致しているといわれている。例えば、地震などのハザードが発生した場合、発生地に居住者がいない場合（曝露なし）は災害リスクがないと考える。居住者がいる場合でも、耐震化により揺れに対する建築物の感受性が低い場合や、揺れが大きい時でも避難訓練が十分されているなどの対応力が高い場合も、災害リスク（ダメージ）は小さくなる。



レジリエンスについても、少なくとも 21 の異なる学術的定義の存在が指摘されており、統一的な定義には至っていない。工学的な意味でのレジリエンスは、「復元力」や「弾力」が相当する日本語の概念であり、元の状態に戻るために必要な時間と定義される。近年のレジリエンスに係る議論の中心は、上記の工学的レジリエンスではなく、Holling が提唱した生態学的レジリエンスに立脚している。ここでは、システムが攪乱を吸収しその基本的機能を損なうことなく持続する能力がレジリエンスであり、基本的機能が維持される状態として、元の状態以外の複数の状態が存在すると考えられている。すなわち、外力を吸収する力 (capacity to absorb)、機能を維持するために適応する力 (adaptive capacity) が含まれている。さらに、外力をきっかけとして経験から学び、システムを変革する能力 (transformability) もレジリエンスの概念に含めて整理する研究も多い。例えば、津波被害に遭ったコミュニティが、新たな防災措置を施すことなくすばやく元の居住地に戻ることは、工学的な理解ではレジリエントであるが、生態学的レジリエンスに立脚した防災の観点からは、レジリエントではないと理解できる。

このように、大きな意味では脆弱性が災害リスク (ダメージ) の要因側に焦点があり、レジリエンスは対応側を中心とした概念と理解できるが、脆弱性とレジリエンスには共通する要素は多く、両概念の関係性 (包含関係、表裏の関係) はそれぞれの概念がどの要素を含むものと理解するかによる。レジリエントな廃棄物処理システムを構築することが脆弱性評価の目的であるため、脆弱性評価を行うにあたっては、表 1.3-4 に示す脆弱性とレジリエンスの視点を網羅していることが望ましいと考える。

表 1.3-4 脆弱性およびレジリエンスの構成概念

exposure (曝露)	ハザードに曝される程度や期間
sensitivity (感受性)	ハザードからの影響の受けやすさ
capacity to absorb (吸収力)	機能不全に陥ることなく受けることのできる影響の大きさ
capacity to respond (対応力)	基本的機能を維持 (機能回復) し、潜在的なダメージを抑え、ダメージへと対処する能力
adaptability (適応力)	柔軟に対応するためにシステムを発展・修正させ、対処可能な変動の幅を拡大する能力
transformability (変革力)	既存システムの維持が困難になった時に、根本的に新しいシステムを創る力

### 3) 災害時の廃棄物処理に係る脆弱性評価の基本的考え方

災害リスクの発生を脆弱性の根本原因まで含めてモデル化した PAR (Pressure and Release) モデルでは、「災害リスク (ダメージ) = 脆弱性 × ハザード」との理解を発展させ、脆弱性のレベルを Root causes (e.g. 政治的パワーへのアクセスの欠落)、Dynamic pressures (e.g. 都市政策)、Unsafe conditions (e.g. 津波エリアへの居住) の 3 つの階層で捉えている。また、DROP (Disaster Resilience of Place) モデルでは、ある脆弱性・レジリエンスの状況にあるコミュニティは、ハザードに曝されたとき、対応力でも緩和できなかつた部分が災害ダメージとして現実化する。このダメージが吸収力を超えたとき、適応力があれば早期復興が実現し、不十分であれば復興が遅れる。このハザードによる被災経験から学習することで、コミュニティがおかれている脆弱性・レジリエンスの状況が変化する、というサイクルで整理されている。これらの既存モデルを参考に、廃棄物の観点から災害リスクと脆弱性の関係をモデル化すると、図 1.3-10 のように整理できる。



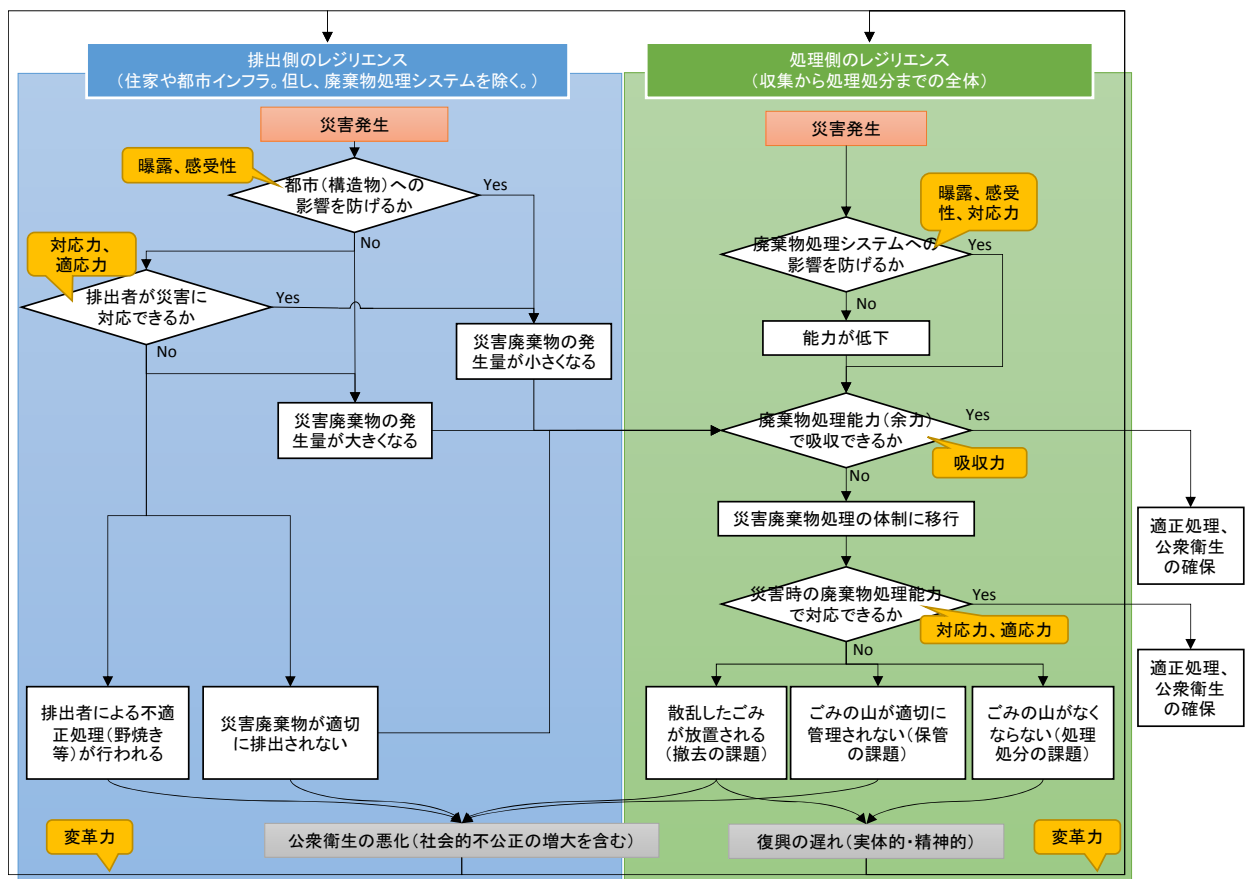


図 1.3-10 廃棄物分野における脆弱性・レジリエンスの影響メカニズムの仮説

図中の橙色囲みには関連する脆弱性視点を整理し、既存の理論体系との関連を示した。なお、図は現象を単純化して示したものであり、実際のメカニズムの細部を忠実に再現したものではない。

まず、災害廃棄物の発生・排出側については、脆弱性が高い場合は都市（構造物）が大きな影響を受け、大量の災害廃棄物の発生につながると考えられる（曝露、感受性の観点）。例えば、建物の耐震化や災害リスクの高いエリアにおける開発規制が進んでいけば、災害廃棄物の発生量は減ると考えられる。また、都市が被災した場合、排出者が適切な対応をとる（e.g. 洪水前に家財を避難させる）ことができれば災害廃棄物の減少につながるが、対応ができないと濡れ家財等が多く発生するとともに、公道にごみ袋を放置するなどの不適正排出が行われる可能性がある。この時、高齢者等の社会的弱者については、特に排出が困難になる可能性が高いため、注意が必要と考えられる。

一方、処理側については、廃棄物処理システムへの影響を防げ（減らせ）ない場合、処理能力の低下を招く。東日本大震災においても、焼却施設、し尿処理施設、一般廃棄物処理業者の収集車などが被災しており、発災直後の廃棄物処理に大きく影響していた。続いて、発災後に利用可能な処理能力を活用し、発生した災害廃棄物を処理することになる。発生した災害廃棄物量（あるいは性状）を平時の廃棄物処理システムが吸収できるほど十分な余裕があれば平時と大きく変わらない適正処理を行うことができるが、当該システムでは吸収できないほどの発生量の場合は、新たに災害廃棄物処理の体制に移行する必要がある。災害廃棄物処理の能力は、撤去、保管、運

搬、処理処分に係る技術的視点に加え、マネジメントの視点も重要である。脆弱性が高い場合は、前述のいずれか（または複数）のプロセスにおいて課題が生じ、公衆衛生の悪化や復興の遅れを招く。

さらに、ある災害経験から教訓を得て次の準備に活かすことで、脆弱性を低くすることができる。特に、policy window (Kingdon, 1995) が開いている災害直後に検証・施策の展開ができる条件が整っていることが重要である（復興特別会計の活用など）。以上の議論をふまえ、廃棄物処理分野における脆弱性評価の視点と指標の例を表 1.3-5 に示した。なお、各指標に基づき、どのような評価を行うかという基準については、客観的に数値基準が設けることが難しいものが多いと考えられる。この場合、評価の再現性を高める工夫を行いつつ主観評価を行うなどの工夫が求められる。

**表 1.3-5 災害廃棄物処理に係る脆弱性評価の視点（多島・大迫（2014）をもとに著者作成）**

脆弱性評価の大項目	脆弱性・レジリエンスの視点	指標の例
(1) 災害による都市への影響を回避・緩和する	曝露、感受性	<ul style="list-style-type: none"> <li>浸水想定区域内に存在する世帯数</li> <li>住宅の耐震化率</li> <li>推定震度分布図の大震度エリアに存在する有害物質保管工場の数</li> </ul>
(2) 災害への排出者の対応力を上げる	対応力、適応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>住宅の耐震化率</li> <li>浸水を想定した家具や商品の配置</li> <li>住民の災害時ごみ出し方法の認知</li> </ul>
(3) 災害による平時の廃棄物処理システムへの影響を回避・緩和する	曝露、感受性、対応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>推定震度分布図の大震度エリアに存在する焼却施設の数</li> <li>処理施設の耐震化率</li> <li>処理施設における緊急時運転マニュアルの有無</li> </ul>
(4) 平時の廃棄物処理システムの吸収力を上げる	吸収力	<ul style="list-style-type: none"> <li>焼却施設の余裕率</li> <li>廃棄物担当職員の数</li> <li>埋立処分上の残余容量</li> </ul>
(5) 災害廃棄物処理システムの対応力を上げる	対応力、適応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害廃棄物処理計画の有無</li> <li>発生量推計値の存在</li> <li>仮置場候補地のリストの有無</li> <li>訓練実施の有無</li> <li>職員の災害廃棄物処理に係る制度の知識習得度</li> <li>緊急時の施設設置許可に関する緊急時の仕組みの有無</li> </ul>
(6) 社会の変革力を高める	変革力	<ul style="list-style-type: none"> <li>多様なステークホルダーへの政策決定機関の関与機会</li> <li>検討のための予算</li> </ul>

#### 4) 我が国における脆弱性評価との比較

現在、国が進めている脆弱性評価では、廃棄物分野については、ストックヤードの確保が不十分、焼却施設の自立稼働化が不十分、災害廃棄物処理計画の策定率が低い、人材育成の促進が必要、有害物質情報の計画への活用が必要、大量輸送可能な災害廃棄物輸送の実施について検討することが必要、という結果が得られている。今後、政府としては関連する以下の6つの指標で強靱化の進捗管理を行うこととしている。

##### ①有害物質情報の把握：感受性

- ②災害廃棄物処理計画の策定（市町村）：対応力
- ③鉄道・海上輸送を含めた災害廃棄物輸送に関する検討：対応力
- ④ストックヤード確保：対応力
- ⑤自立稼働可能なごみ焼却施設の整備：対応力
- ⑥教育訓練による人材育成：対応力、適応力

表 1.3-5 に整理した枠組みに照らすと、「①有害物質の把握」は（1）と（5）に関連し、平時に管理している有害物質を災害廃棄物にしない、または、被災した場合に即座に対応できるようにする、ということにつながる。「②災害廃棄物処理計画の策定」は、基本的には（5）に関連し、発災後の対応力を向上させることを目的とするが、他の項目にも関連する。「③鉄道・海上輸送を含めた災害廃棄物輸送に関する検討」、「④ストックヤード確保」、「⑥教育訓練による人材育成」は（5）の発災後の災害廃棄物対応力に関係する。「⑤自立稼働可能なごみ焼却施設の整備」は、主として（3）の平時の処理システムの対応力に関係すると考えられる。このように整理すると、（2）の排出者たる住民等の対応力の向上（普及啓発等）、（4）の施設余裕率の議論、（6）の次の災害への備えを適切に行う体制になっているかという変革力に対する指標が欠けていることが分かる。また、各指標について、より細かな指標に細分化するとともに、どのような主旨で指標を設定し、廃棄物処理システムが災害時にどのような形で弊害を受けることにつながるのか、理解できるような整理が必要と考えられる。

## 5) まとめ

既存研究で議論されている脆弱性、レジリエンスの概念整理にもとづき廃棄物分野における脆弱性評価の基本枠組みを考察することにより、現在の取り組みよりも網羅的な脆弱性評価の枠組みを示すことができた。今後は、評価のスケールを考慮しつつ、具体的な評価方法と指標の検討を進めることが求められる。

## 参考文献

- 1) 多島良、平山修久、大迫政浩（2014）災害廃棄物処理に求められる自治体機能に関する研究—東日本大震災における業務の体系化を通じて—、自然災害科学、33、特別号、153-163.
- 2) 多島良、大迫政浩（2014）災害に対する脆弱性評価の基本的枠組み、第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会要旨集、105-106.
- 3) Kingdon, J. W. (1995) *Agendas, Alternatives, and Public Policies* [second edition], HarperCollins College Publishers, 254 pages.

### 1.3.3 緊急時における環境アセスメントのあり方に関する研究

#### (1)はじめに

災害は自然環境、人口環境に変化をもたらすが、災害への対応によって二次的な環境リスクが発生することも知られている。例えば、Srinivas and Nakagawa（2008）は、被災地の片づけが拙速に行われることが、災害廃棄物の不適切な処理（オープンダンプ、野焼き）を引き起こし、二次的な環境影響をもたらすと指摘している。このように、災害後のような緊急時においても、適切に環境リスクを管理する必要がある。

平時の環境リスク管理においては、リスクの同定・評価・対応策の検討において価値判断を明

示的に扱うことが求められる（Renn, 1998）ことから、市民参加は欠かすことができない。しかしながら、災害などの緊急時においてどこまで丁寧な市民参加を行うかは、市民自身の価値観・態度も考慮に入れつつ検討すべきと考えられる。そこで、本研究では、緊急時における環境アセスメントの市民参加について検討に資する基礎研究として、市民の災害時環境リスク認知の構造を明らかにすることを目的とした。

## (2) 調査の枠組み

2015年2月6日～12日の7日間、調査会社のモニターを対象にwebアンケートを実施した。調査対象は、東日本大震災により被災した20～69歳の男女である。具体的には、「東日本大震災特定被災区域」から比較的人口の少ない埼玉県、新潟県、長野県の市町村および福島県の市町村の居住者を除いたうえで、スクリーニング調査において多少の被害を個人的に受けたと回答した人を対象とした。性別（男性、女性）ごとに年齢区分（20代、30代、40代、50代、60代）で人口構成比に応じて割り付けられた9794サンプルに対してスクリーニング調査を行い、条件に当てはまった回答者を対象に本調査を実施した。回答時間が2分未満の場合は有効回答とせず、1500サンプルを回収した。

主な調査項目を表1.3-6に示す。災害時のリスク管理行動の優先順位と、平時のリスク管理行動の優先順位は、対応関係に配慮して設計した。

表 1.3-6 主な調査項目と質問事項

被災の程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 東日本大震災では、あなたがお住まいの地域は地震や津波によりどのくらいの被害を受けましたか（4件法）</li> <li>○ 東日本大震災後、「災害廃棄物」の処理（収集、一時的な保管、焼却処理、破碎・選別処理のいずれか）が、あなたがお住まいの地域では行われていましたか？（されていなかった、されていた、分からない）</li> </ul>
災害環境リスク認知	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ お住まいの地域で東日本大震災と同程度の自然災害が起きた場合の影響（4件法）</li> <li>1. 災害廃棄物や土砂が散らかることで悪臭が広がる</li> <li>2. 災害廃棄物を焼却処理することで空気が悪くなる</li> <li>3. がれきを破碎処理するときに騒音が発生する</li> <li>4. 自然とふれあえる場所が減る</li> <li>5. 災害で動植物の棲み処が破壊されて生態系が乱される</li> <li>6. 工場や事業所から有害物質が漏れて土壌が汚染される</li> <li>7. 復旧・復興のための工事車両が増えて温室効果ガスの排出が大きくなる</li> <li>8. 被害を受けた建物を取り壊すときにアスベスト（石綿）が飛び散る</li> </ul>
災害時のリスク管理行動の優先順位	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 今お住まいの地域で自然災害がおきた場合、3か月程度経過した時点で、行政が取り組むべき仕事の優先度（7件法）</li> <li>1. 二次災害から市民の命を守ること</li> <li>2. 電気・水道・ガスなどの重要インフラを復旧すること</li> <li>3. 災害廃棄物を早く片付けること</li> <li>4. 散らかった災害廃棄物や土砂からの悪臭対策をとること</li> <li>5. 災害廃棄物を焼却処理した場合の排ガス対策をとること</li> <li>6. がれきを破碎処理するときの騒音対策をとること</li> <li>7. 自然とふれあえる場を確保すること</li> <li>8. 災害で破壊された動植物の棲み処や生態系を元に戻すこと</li> <li>9. 工場や事業所から漏れた有害物質による土壌汚染への対策をとること</li> <li>10. 復旧・復興のトラックから出される温室効果ガスが減るように管理すること</li> <li>11. 被災した建物を取り壊すときに、アスベスト（石綿）が飛び散らないように管理すること</li> <li>12. 個人の家の修理費を補助すること</li> <li>13. 被災して生活が苦しくなった人に対して税金面の優遇をすること</li> <li>14. 被災して職を失った人に働く場を提供すること</li> <li>15. グルメイベントを開催するなどして、全国から被災地にお金が落ちるようにすること</li> <li>16. なるべくお金をかけずに災害復旧をすすめること</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>17. 被災した企業が事業を再開するまで税金を免除するなどして優遇すること</li> <li>18. 避難生活における人権やプライバシーの問題に対応すること</li> <li>19. お祭りなど、ご近所とのつながりを深める地域イベントの開催をすすめること</li> <li>20. 仮設住宅の新築・増築など、住まいをなくした方への対応を行うこと</li> <li>21. 被災地からの人口の流出を防ぐこと</li> <li>22. 学校を早く復旧させ、授業を再開すること</li> <li>23. 被災した社会的弱者（障がい者等）が元の生活に戻るための支援をすること</li> </ul>
平時のリスク管理行動優先順位	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 普段の時、行政ほどの程度優先的に取り組むべきと思いますか</li> <li>1. 将来の災害から市民の命を守ること</li> <li>2. 電気・水道・ガスなどの重要インフラを維持管理すること</li> <li>3. 公共の場に散らかっているごみを早く片付けること</li> <li>4. 散らかったごみや土砂からの悪臭対策をとること</li> <li>5. ごみを焼却処理した場合の排ガス対策をとること</li> <li>6. ビル等の建物を解体するときの騒音対策をとること</li> <li>7. 自然とふれあえる場を確保すること</li> <li>8. 動植物の棲み処を守り生態系を守ること</li> <li>9. 工場や事業所から出される有害物質による土壌汚染への対策をとること</li> <li>10. トラックから出される温室効果ガスが減るように管理すること</li> <li>11. 建物の解体でアスベスト（石綿）が飛び散らないように管理すること</li> <li>12. 個人の家の補修費を補助すること</li> <li>13. 生活が苦しい人々に対して税金面を優遇すること</li> <li>14. 仕事がない人に働く場を提供すること</li> <li>15. グルメイベントを開催するなどして、全国から地元にお金が落ちるようにすること</li> <li>16. 行政がなるべくお金をかけずに仕事をする</li> <li>17. つぶれそうな会社に対して税金を優遇すること</li> <li>18. 人権やプライバシーの問題に対応すること</li> <li>19. お祭りなど、ご近所とのつながりを深める地域イベントの開催をすすめること</li> <li>20. 経済的に余裕がない人など、住まいが見つかりにくい人向けに公営住宅をつくること</li> <li>21. 地域からの人口の流出を防ぐこと</li> <li>22. 学校の新設や補修など、確実に教育を受けられるようにしていくこと</li> <li>23. 社会的弱者（障がい者等）が不自由なく生活できるよう支援すること</li> </ul>

### (3) 結果と考察

#### 1) 回答者の基本属性

調査対象の性別、年齢区分を表 1.3-7 に示す。性別・年代の観点で、大きな偏りのないサンプルであることが確認された。

表 1.3-7 サンプルの性別・年代

	20代	30代	40代	50代	60代	合計
男	90 (11%)	158 (19%)	179 (22%)	199 (24%)	199 (24%)	825 (100%)
女	90 (13%)	153 (23%)	152 (23%)	165 (24%)	115 (17%)	675 (100%)
計	180	311	331	364	314	1500

#### 2) 被災の程度

回答者の半数は、居住地域が一定の被害（「それなりに被害を受けた」以上）を受けたと認識していた。また、回答者の41%は、災害廃棄物処理がされていたことを認識していた。

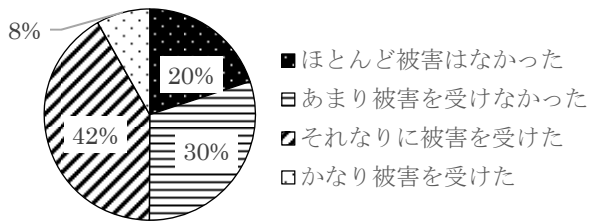


図1.3-11 居住地域の被害 (n=1500)

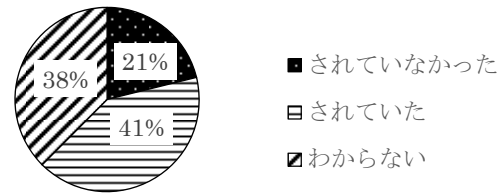


図1.3-12 居住地域における災害廃棄物処理認知 (n=1500)

### (3) 災害時の環境リスク認知

図 1.3-13 に、災害時に発生しうる環境リスクの認知を尋ねた結果を示す。各種災害時環境リスクがあると考える人（「多少あると思う」＋「かなりあると思う」）は、7 割前後であった。なかでも、がれきの破碎処理に係る騒音については、他の環境リスクよりも高く認知されている。

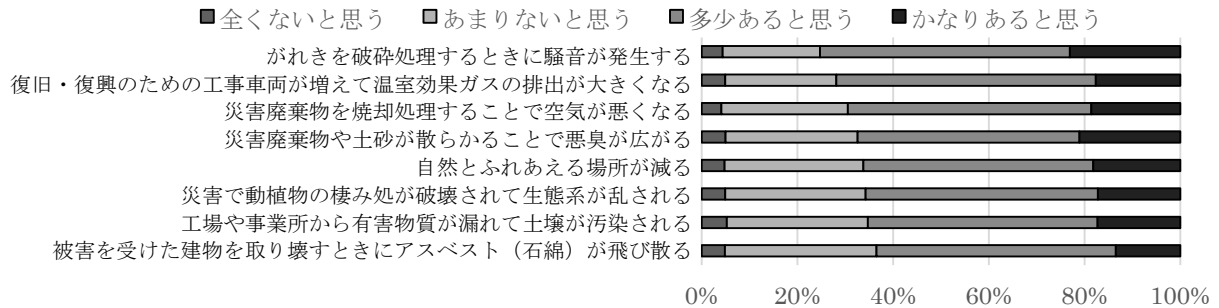


図1.3-13 災害環境リスク認知 (n=1500)

続いて、被災程度とリスク認知の関係を調べるため、クロス集計を行った。カイ二乗検定の結果、悪臭（図 1.3-14）、自然とのふれあい（図 1.3-15）、生態系の攪乱（図 1.3-16）、有害物質漏えいによる土壌汚染（図 1.3-17）、復旧による温室効果ガスの増大（図 1.3-18）については 5%水準で有意な差があった。いずれについても、実際に受けた被害の程度が大きいかほど災害時の環境リスク認知が高くなっており、大規模災害時には一定の環境リスクが生じることが示唆される。とくに「かなり被害を受けた」を選択した回答者についてリスク認知が高い項目（悪臭、ふれあいの場、生態系攪乱）については、津波による被害を受けたことが影響していると推察される。

なお、災害廃棄物処理が居住地域で実施されていたか否かによる違いは、いずれの災害時環境リスクについても認められなかった（有意水準 5%）。

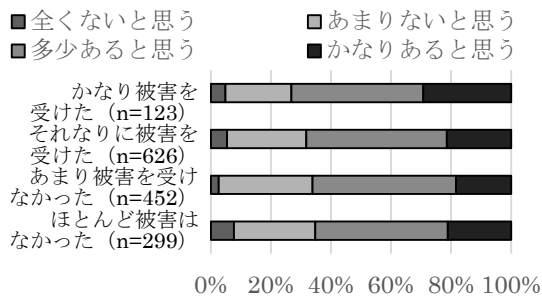


図1.3-14 災害廃棄物等による悪臭

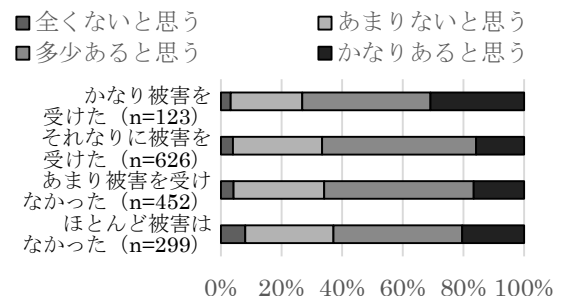


図1.3-15 自然とのふれあいの場の減少

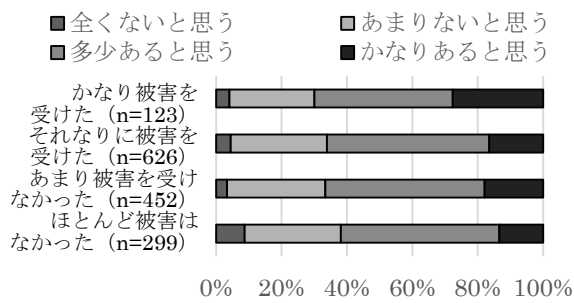


図1.3-16 生態系の攪乱

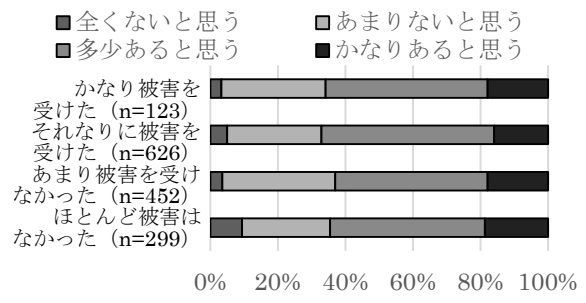


図1.3-17 有害物質漏えいによる土壤汚染

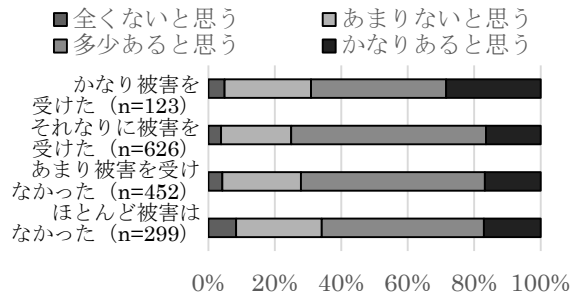


図1.3-18 復旧による温室効果ガスの増大

#### 4) 災害時のリスク管理行動の優先度

災害時において行政が取り組むべき仕事の優先度を尋ねた結果を図 1.3-19 に示す。全回答者が選択した優先度（1~7）を加算平均し、項目ごとに求めた優先度評点の高さに応じて、項目を並び替えた。環境関連項目については太字で示した。

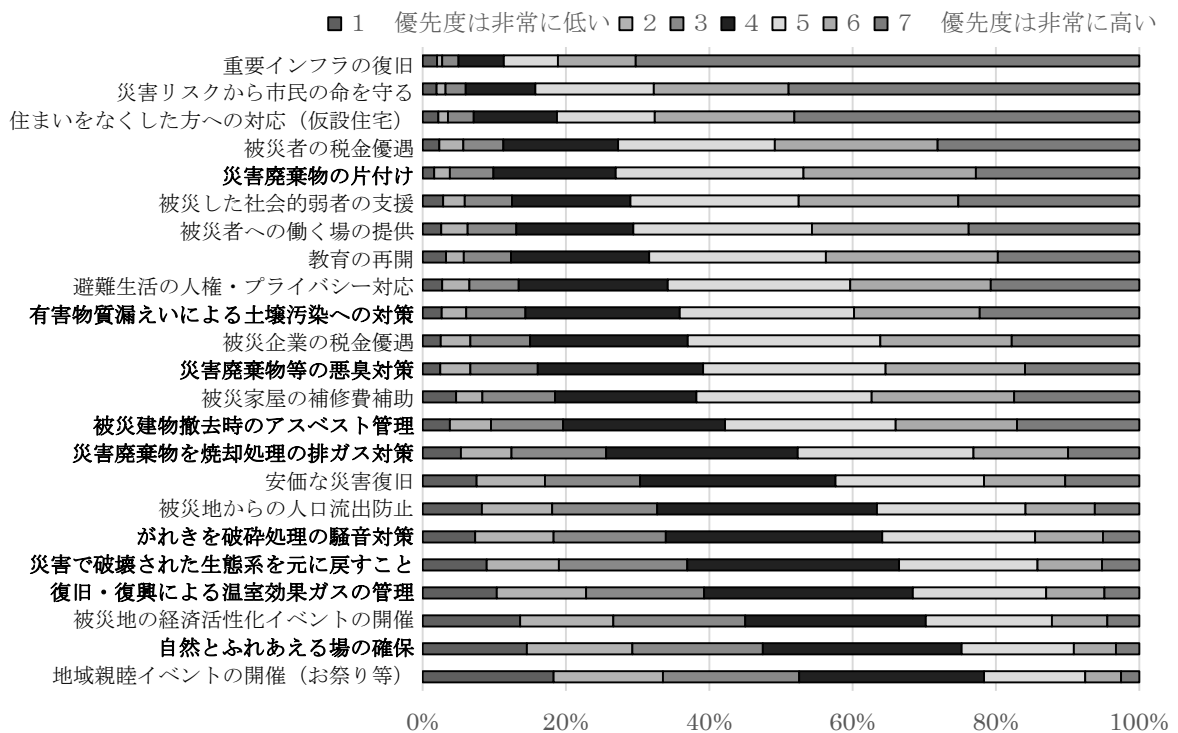


図1.3-19 災害時において行政が実施するリスク管理行動の優先度。太字は環境関連項目。



優先度が特に高いと認識されていたのは、重要インフラの復旧、市民の命を守る、仮設住宅の建設など、当面の生活再建に必要な措置であった。続いて、様々な形で被災者の社会生活を支援する施策（税金の優遇、社会的弱者の支援、職の提供、教育再開、プライバシー対策）の優先度が高く認識されていた。それよりも低い優先度であったのが、環境保全関連項目と、地域の賑わいに関連する項目であった。とくに、被災地からの人口流出防止、騒音対策、生態系の回復、温室効果ガスの管理、被災地の経済活性化、自然とふれあえる場の確保、地域親睦イベントの開催については、優先度評点が4以下であり、比較的優先度の低い施策と認識されていた。

### 5) 平時のリスク管理行動の優先度

平時に行政が取り組むべき仕事の優先度を尋ねた結果を図 1.3-20 に示す。(4) と同様に優先度評点を求め、項目を並べ替えた。環境関連項目については太字で示した。

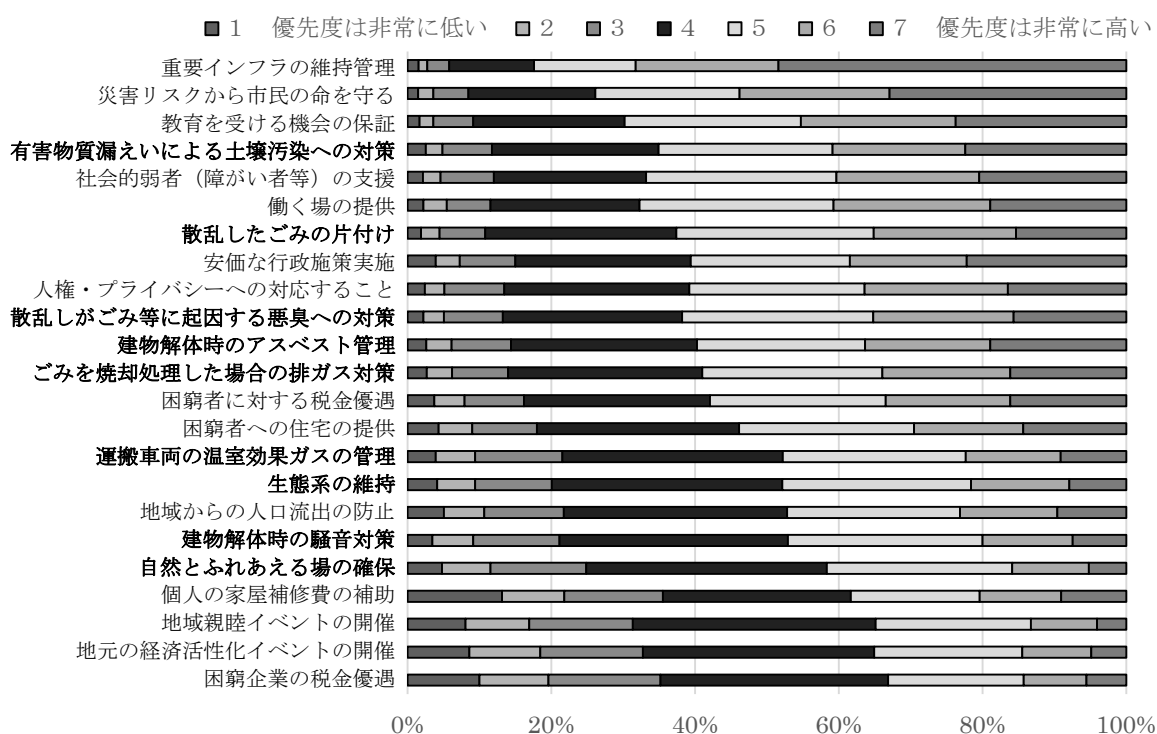


図1.3-20 平時に行政が実施するリスク管理行動の優先度。太字は環境関連項目。

まず、災害時の優先度と比較し、項目間の優先度の差が小さくなっている。すなわち、災害時の方がメリハリのある施策展開が求められていると理解できる。

また、優先度の順位については、被災者の生活再建支援に係る項目（被災者に対する税金優遇、住宅の提供、家屋補修費の補助、被災企業の税金優遇）が、災害時と比較して大幅に下がっている。一方で、有害物質の漏えいによる土壌汚染への対策と、安価な行政施策実施については、災害時と比較して大幅に順位が上がっている。その他の環境関連項目については、災害時と平時で優先順位がほとんど変化していない。

## 6) 災害時と平時の比較

各項目について、平時と災害時の優先度評点の差を示したものが図 1.3-21 である。正の値をとる項目は、災害時において優先度が高まることを意味する（逆もしかり）。基本的に、環境リスク管理行動については、災害時に優先度が下がることが分かる。散乱したごみの片づけ（災害廃棄物の処理）については、迅速な復旧復興のために必要であることから、優先度評点が例外的に高くなっていると理解できる。

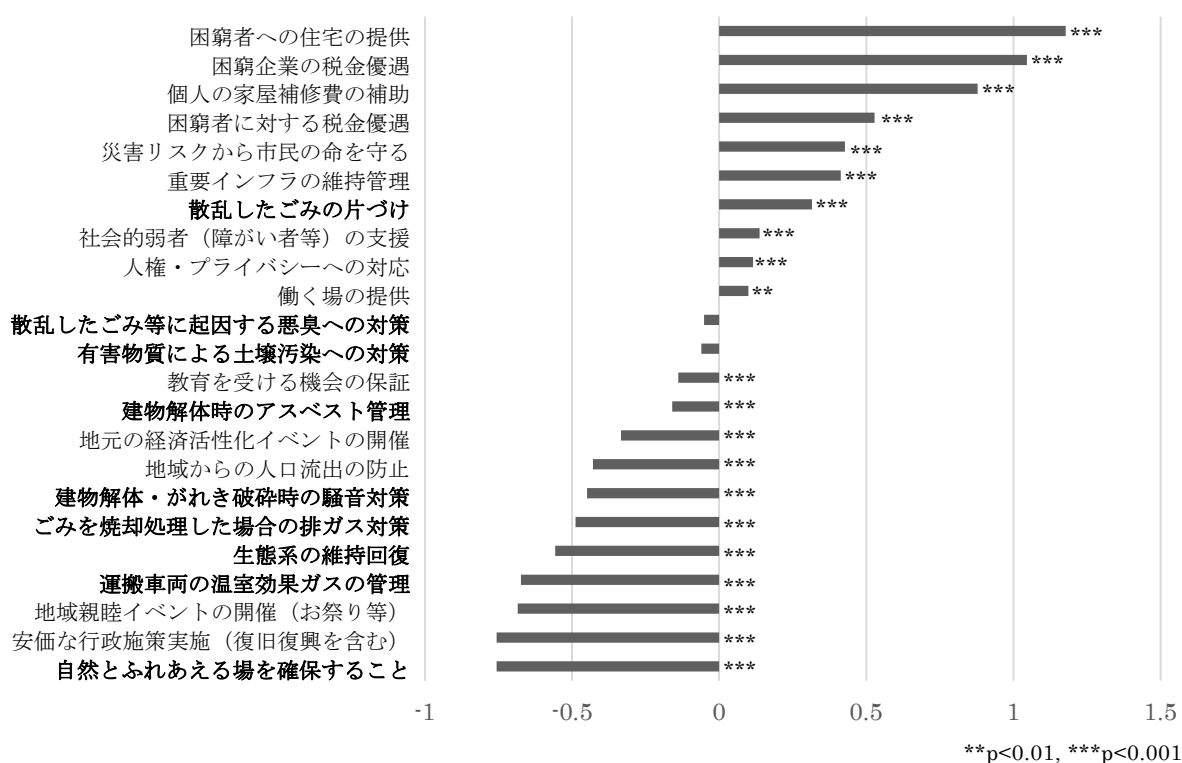


図1.3-21 平時と災害時の行政行為優先度の差。太字は環境関連項目。

## (4)まとめ

災害時の環境リスク認知と、災害時に行政がとるべきリスク管理行動の優先度について、東日本大震災の被災者を中心に意識調査を行ったところ、災害時の環境リスクはある程度存在するものの、それを管理する行動の優先度（i.e. 行政が環境リスク管理にリソースを優先的に割くべきとの考え）が下がることが示唆された。

なお、現段階では単純集計とクロス集計に基づく考察のみにとどまっているが、今後は因子分析、共分散構造分析等の分析手法を活用し、リスク管理行動間のトレードオフ等、潜在的な心理学的規定因の構造を明確にしていく予定である。

## 参考文献

- 1) Renn, O. (1998) The role of risk perception for risk management, *Reliability Engineering and System Safety*, 59, pp.49-62.
- 2) Srinivas, H., Nakagawa Y. (2008) Environmental implications for disaster preparedness: Lessons learnt from the Indian Ocean Tsunami, *Journal of Environmental Management*, 89(1), pp.4-13.

## 2. 災害に伴う健康・環境へのリスク管理戦略に関する研究

有害な物質や成分にかかわるリスクの管理や評価は広く研究されてきた。しかし、これら平常時に対するにおける取組に対して、災害時における環境・健康のリスク管理への取り組みは大きく遅れていることを、今般の震災においても再認識することとなった。

この問題意識を受けて、本プロジェクトでは、災害に伴って懸念されるさまざまなリスク要因への迅速・的確な管理の方法論を示し、福島の復興と災害に強い社会づくりに貢献する。管理目標、調査手法、調査体制の3課題を設定して検討する。

課題1では、災害時のリスク管理目標に関する研究を行う。ここでは、災害時から平常時に至る動的・戦略的リスク管理目標の考え方を確立する。課題2では、災害時の探索的・迅速分析の構築を行う。災害時の探索的・迅速調査の方法を現場調査への応用の中で構築を目指す。具体的には課題2-1：大気環境調査（現行被災地調査から展開）及び水環境調査、課題2-2：探索的・網羅的高度分析の開発・体系化を行う（計測C成果を基礎に展開）。課題2-3：海洋における災害時環境調査の研究（地域C調査を継続・展開）をそれぞれ実施する。課題3では、災害時リスク管理の体制に関する研究を行う。ここでは、災害時の健康・環境リスクの管理を支える体制のあり方を提案する。研究所内のタスクフォース活動を引き継ぎ、既存の諸外国の経験等の調査と、地環研など国内での具体的体制構築を目指す活動を行う。これらの研究概要を図2-1にまとめて示す。

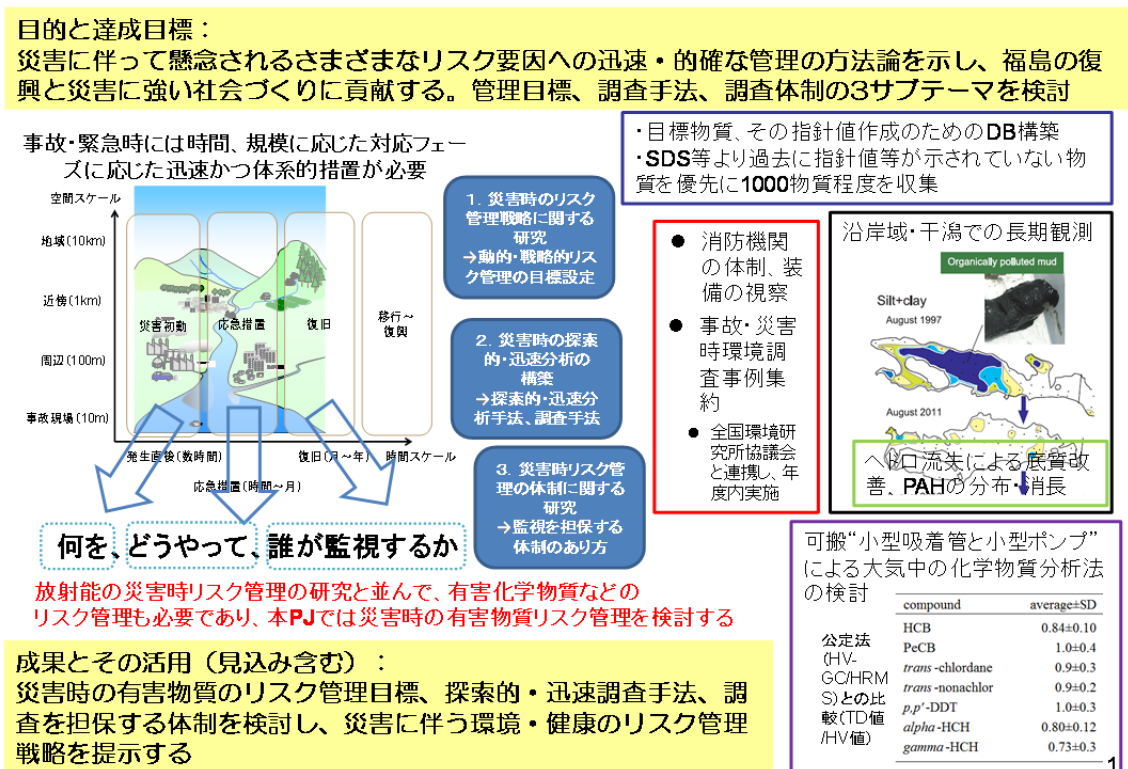


図2-1 災害に伴う健康・環境へのリスク管理戦略に関する研究の概要

### 2.1 災害時のリスク管理目標に関する研究

災害時のリスク管理目標に関する研究を行う。災害時のリスク管理目標として、平常時の環境基

準等の管理目標とともに、あるいはそれらとは異なる災害時のリスク管理目標が設定されていれば、災害時、緊急時の迅速かつ適切な対応のために有効と考えられる。図 2.1-1 に災害時のリスク管理戦略と管理目標の概念を示す。

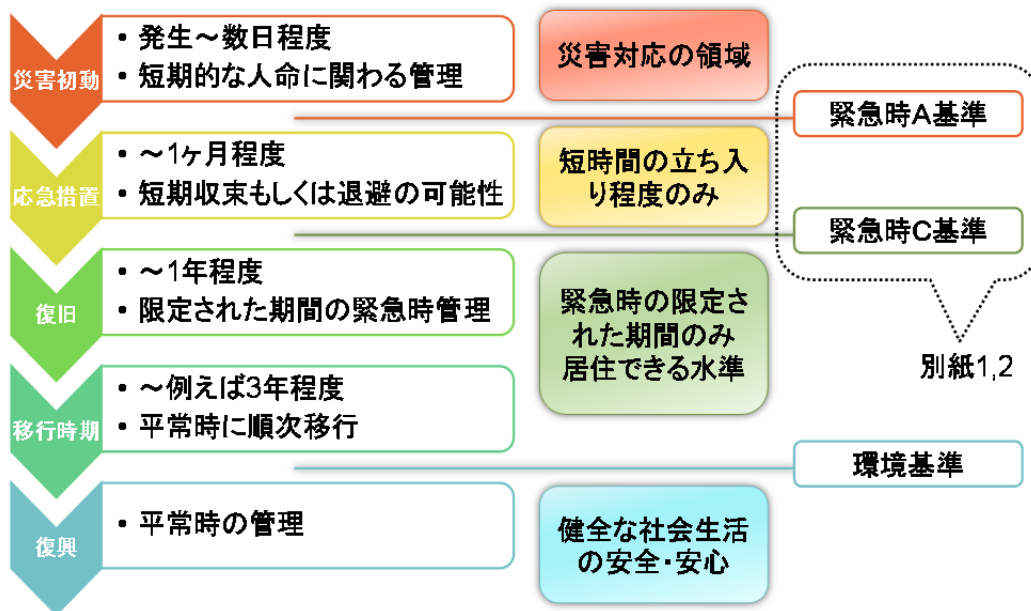


図 2.1-1 災害時のリスク管理戦略と管理目標の概念

平成 26 年度は、目標物質、その指針値作成のためのデータベース構築の検討を実施した。本件等では、SDS (Safety Data Sheet 物質安全シート) および IRIS (Integrated Risk Information System, 米国 EPA) 等から、経口毒性 NOAEL (No-observed effect level)、LOAEL (Lowest-observed effect level) または LD50 (半数致死量) などの毒性値、動物種、試験条件・方法等の毒性値の根拠および出典を収集し、データベース化を試みた。また、IRIS 等が収集している RfD (Reference dose) 等の経口摂取にかかわる判断値、判断に係る UF (不確実係数) および UF 根拠を収集した。発がんユニットリスク等の情報もあわせて行う。

可能な限り 1000 物質以上を構築すべく検討を実施した。これによって、環境化学会での大気経路の検討 (2011 年 8 月) に加え経口経路の指針値構築の準備を行う。

## 2.1.1 目標物質およびその指針値作成のためのデータベース構築の検討

### データベース構築において収集対象とする情報源

緊急時リスク管理の目的においては、既に何らかの法的あるいは公的な判断値が提案されている物質・データおよび、現在そのような判断が行われていないが基礎情報は存在する物質の双方を考慮することが有効と考えられる。本検討では、表 2.1-1 に示す米国 EPA の”Integrated Risk Information System (IRIS)” データベース (以下、「IRIS」と言う。) における”IRIS Summary”および厚生労働省の GHS 対応モデルラベル、また実際のデータ収集には、この情報を元に作成された「政府による GHS 分類結果 (独立行政法人製品評価技術基盤機構)」(以下、「モデル SDS」と言う。) を使用する。

表 2.1-1 対象とする情報源

番号	情報源	備考
①	米国 EPA の Integrated Risk Information System (IRIS) データベースのうち、“IRIS Summary” ( <a href="http://www.epa.gov/IRIS/ov/IRIS/">http://www.epa.gov/IRIS/ov/IRIS/</a> )	既に何らかの判断が行われている情報源。
②	厚生労働省 職場の安全サイトモデル SDS・モデル SDS 情報 ( <a href="http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/GHS_MSD_FND.aspxD_FND.aspx">http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/GHS_MSD_FND.aspxD_FND.aspx</a> ) ただし、実際のデータ収集は以下の情報源を使用する。 独立行政法人製品評価技術基盤機構 政府による GHS 分類結果 ( <a href="http://www.safe.nite.go.jp/ghs/ghs_download.html">http://www.safe.nite.go.jp/ghs/ghs_download.html</a> )	SDS ベースの情報。現時点では基礎情報のみしかない情報源。

### 対象物質の選定

対象とする物質としては、緊急時リスク管理の必要性の高い物質を優先することとし、このために物質の物性等の特性、また用途、使用状況や製造工程、関連する法規制の状況などもあわせて収集し、これに基づくばく露可能性を評価して優先判断を行う。

具体的には、大気指針値など国内の関連法令、規制等が存在する場合は、あわせて物質の照合と情報源の情報を収集する。IRIS 掲載の約 540 物質はすべてを収集対象とする。モデル SDS には約 2,700 物質が掲載されている。ここから、本業務で対象とする物質を選定する方針としては、まず、一般環境の指針値等が設定されている物質は、指針値等が既にある程度存在することから優先度を低く判断する。化学物質事故などでの応用を考慮すれば、製造・輸入実績がある物質のうち、毒性の強い物質は優先度を高く判断する。詳細は省略するが、以上のような概略方針に基づき、表 2.1-2 の収集対象物質を選定した。

表 2.1-2 収集対象とする物質数

情報源	物質数
IRIS	542 物質
モデル SDS	894 物質
計	1,031 物質 (重複除く)

### データベースのための情報収集項目

IRIS 掲載物質については、既に毒性データベースとして整理されているものであり、原データを整理して収集した。内容としては、(1) 基本情報、(2) 試験条件 (生物の種、系統 (F344/N など)、月齢および試験名、ばく露経路、エンドポイント、ばく露頻度、試験期間という試験条件の項目)、(3) 試験結果 (有害性指標、値、単位など)、(4) 不確実係数 (UF) 等 (UF の値および UF を構成する個体差、種差、試験期間、データベースの質ごとの値)、(5) 信頼性等 (試験種類、データベース、試験結果等に対する情報の信頼性評価の結果)、(6) 参考文献、となる。

SDS 掲載物質については、表 2.1-3 のような範囲でのデータを収集した。SDS での情報の種類は、急性毒性の場合、慢性毒性 (発がん性以外) の場合、慢性毒性 (発がん性) の場合で大きく異なる

ため、情報収集項目はこれらの場合に分けて設定した。

**表 2.1-3 モデル SDS において情報収集対象としたエンドポイントとその範囲**

エンドポイント		入力対象とするレコード
急性毒性	急性毒性（経口）	「区分 1」から「区分 5」に分類されているものを入力対象とした。 「区分外」、「分類できない」、「分類対象外」のものは入力対象外とした。
	急性毒性（経皮）	
	急性毒性（吸入：ガス）	
	急性毒性（吸入：蒸気）	
	急性毒性（吸入：粉塵、ミスト）	
慢性毒性	生殖細胞変異原性	
	発がん性	
	生殖毒性	
	特定標的臓器毒性（単回ばく露）	
	特定標的臓器毒性（反復ばく露）	
	吸引性呼吸器有害性	

ここで、各毒性項目の情報収集項目のうち、急性毒性の場合は、物質情報、分類結果、記載文、ケーススタディの分類、生物種、判断値、および出典が内容となる。慢性毒性（発がん性以外の場合）の場合は、物質情報、分類結果、記載文、区分判断に関する備考、ケーススタディの分類、試験条件、試験結果および出典である。慢性毒性（発がん性）の場合は、物質情報、判断値、記載文、各機関における発がん性の分類結果、および出典である。

### **データベースの構築**

これらの検討に基づき、データベースの構築を行った。図 2.1-4 に対象物質リストの一部を、図 2.1-5 に構築したデータベースの一部（IRIS より収集されたデータの例）、および図 2.1-6 に構築したデータベースの一部（モデル SDS より収載されたデータの例）を示す。

現時点では、データの収集とデータベース構築の初期の目標をまず達成したのみで、具体的な判断値の検討には手がついていないが、2015 年度にはこれらを元にした新たな判断値に関する検討を本データに基づいて進める計画である。



図 2.1-4 対象物質リストの一部

図 2.1-5 構築したデータベースの一部 (IRIS より収集されたデータの例)



情報源	CAS番号	物質名	項目	備考	分類結果 区分時期に 関する備考	EU分類 EU分類文 献	①) キー ワード(2 語)	①) 生物 性	①) 定 量値 有害性指 標	①) 定 量値 下 限値(子 アムノ)	①) 定 量値 上 限値	①) 定 量値 単 位	①) 定 量値 備考	①) 換 算係 数 下 限値(子 アムノ)	①) 換 算係 数 上 限値	①) 換 算係 数 単 位	①) 換 算係 数 備考	①) ア ス ト グ ラ イ ン	
モデルSDS	100-01-6	p-ニトロアニ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-01-6	p-ニトロアニ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-01-6	p-ニトロアニ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-01-6	p-ニトロアニ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-01-6	p-ニトロアニ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-02-7	p-ニトロフェ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-02-7	p-ニトロフェ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-02-7	p-ニトロフェ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-02-7	p-ニトロフェ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-18-5	1,4-ジイソフ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-18-5	1,4-ジイソフ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-18-5	1,4-ジイソフ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-18-5	1,4-ジイソフ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-20-9	テレフタル酸	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-20-9	テレフタル酸	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-20-9	テレフタル酸	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-20-9	テレフタル酸	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10024-97-2	一酸化二窒	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10024-97-2	一酸化二窒	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10024-97-2	一酸化二窒	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10024-97-2	一酸化二窒	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-78-2	トリクロロシ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-78-2	トリクロロシ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-78-2	トリクロロシ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-78-2	トリクロロシ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-87-3	塩化水素(水	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-87-3	塩化水素(水	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-87-3	塩化水素(水	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10025-87-3	塩化水素(水	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10026-13-8	五塩化りん	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10026-13-8	五塩化りん	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10026-13-8	五塩化りん	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10026-13-8	五塩化りん	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10034-85-2	ヨウ化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10034-85-2	ヨウ化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10034-85-2	ヨウ化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10034-85-2	ヨウ化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10035-10-6	臭化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10035-10-6	臭化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10035-10-6	臭化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10035-10-6	臭化水素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-36-7	N,N-ジエチ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-36-7	N,N-ジエチ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-36-7	N,N-ジエチ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-36-7	N,N-ジエチ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-41-4	エチルベンゼ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-41-4	エチルベンゼ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-41-4	エチルベンゼ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-41-4	エチルベンゼ	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10042-76-9	硝酸ストロン	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10042-76-9	硝酸ストロン	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10042-76-9	硝酸ストロン	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10042-76-9	硝酸ストロン	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-44-7	ベンジルメル	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-44-7	ベンジルメル	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-44-7	ベンジルメル	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	100-44-7	ベンジルメル	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														
モデルSDS	10049-04-4	二酸化塩素	急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分できない														

図 2.1-6 構築したデータベースの一部（モデル SDS より収集されたデータの例）

## 2.1.2 環境化学会（2011年8月）作成の緊急時モニタリング指針案の既存分析法調査

この学会指針の大気指針値案に示された対象物質約 600 物質について、利用可能な既存分析法に関する情報収集を行った。

### 情報収集の対象資料

- 情報収集の対象としては、以下の海外機関が開発、集約してきた分析法を優先対象とし、その他必要に応じ可能な分析法を検索した。
- ACGIH（American Conference of Governmental Industrial Hygienists：米国産業衛生専門家会議）
- NIOSH（The National Institute for Occupational Safety and Health：米国職業安全衛生研究所）
- OSHA（Occupational Safety & Health Administration：米国労働安全衛生局）
- ASTM International

※：ACGIH については独自の調査分析方法を策定していないが、調査のためのガイドブックに分析方法が紹介されているので、これらの情報を元に分析方法を検索した。

### 考察内容

600 物質のうち 200 物質弱に対する既存分析法の収集調査を実施した。対象物質に対する、分析法

の概要（捕集・濃縮、最終分析法、出典）、感度、緊急時 A,C 基準レベルの検出可否、また、今後の検討による感度向上の可能性に関する考察、を実施した。検討結果の例を図 2.1-7 に示す。

ID	物質名	CAS No.	種別	分析 項目	分析 番号	サンプリング方法	サンプリング器具	サンプリング 位置	サンプリ ング高 度	分析方法	測定装置	検出下限値	検出下限値 単位	緊急時 A基準	緊急時 C基準	緊急時 A基準 達成	緊急時 C基準 達成	緊急時 A基準 未達成	緊急時 C基準 未達成		
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	7389	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane or 0.2-µm polyethyl ether sulfonate membrane)	0-100	L	濃縮(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.012	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	7391	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane or 0.2-µm polyethyl ether sulfonate membrane)	0-100	L	濃縮(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.012	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	7392	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane MCEL12-mem diameter 0.2-µm pore size)	0-100	L	マイクログラブ法(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	7393	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane)	0-100	L	マイクログラブ法(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	7394	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane MCEL12-mem diameter 0.2-µm pore size)	0-100	L	マイクログラブ法(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A20	Aluminum metal and hydroxide compounds	7620-80-6	元素	Al	8121	バッチ捕集	Filter(0.2-µm cellulose ester membrane MCEL12-mem diameter 0.2-µm pore size)	0-100	L	濃縮(最終分析)→ICP-MS	ICP-MS	0.012	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A21	2-Hydroxyacetone	141-03-6	元素	CH <sub>2</sub> O	2087	バッチ捕集	Sampling Tube(100 µm/100 mg)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A21	2-Hydroxyacetone	141-03-6	元素	CH <sub>2</sub> O	2088	バッチ捕集	3rd 4th 5th 6th 7th 8th	0-100	L	GC	GC	0.03	mg/m <sup>3</sup>	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A22	2-Hydroxypropanoic acid	836-39-9	元素	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	PH2140	バッチ捕集	20 µm 最終分析(最終)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	0.04	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A23	Acetone	67-63-0	元素	CH <sub>3</sub> CO	PH2096	バッチ捕集	メソール抽出	0-100	L	メソール抽出	メソール抽出	0.004	mg/m <sup>3</sup>	0.002	mg/m <sup>3</sup>	0.008	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A24	Acenitric	7881-41-7	元素	NO <sub>2</sub>	8210	バッチ捕集	0.2-µm MCE prefilter(0.2-µm)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.002	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	0.4	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A24	Acenitric	7881-41-7	元素	NO <sub>2</sub>	8218	バッチ捕集	0.2-µm MCE prefilter(0.2-µm)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.001	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	0.4	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A24	Acenitric	7881-41-7	元素	NO <sub>2</sub>	3889	バッチ捕集	最終分析(最終)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.002	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	0.4	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A24	Acenitric	7881-41-7	元素	NO <sub>2</sub>	8158	バッチ捕集	0.2-µm MCE prefilter(0.2-µm)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.02	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	0.4	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A24	Acenitric	7881-41-7	元素	NO <sub>2</sub>	8184	バッチ捕集	0.2-µm MCE prefilter(0.2-µm)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.02	mg/m <sup>3</sup>	0.2	mg/m <sup>3</sup>	0.4	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A25	Acrylonitrile	2527-02-1	元素	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N								0.001	mg/m <sup>3</sup>	0.001	mg/m <sup>3</sup>						
A26	Acrylonitrile	2527-02-1	元素	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N								0.1	mg/m <sup>3</sup>	0.1	mg/m <sup>3</sup>						
A27	Acrylonitrile	2527-02-1	元素	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N								0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.01	mg/m <sup>3</sup>						
A28	Acrolein	87-89-6	元素	CH <sub>2</sub> O	2082	バッチ捕集	Sampling Tube(100 µm/100 mg)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.01	mg/m <sup>3</sup>	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A28	Acrolein	87-89-6	元素	CH <sub>2</sub> O	2017	バッチ捕集	20 µm 最終分析(最終)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A28	Acrolein	87-89-6	元素	CH <sub>2</sub> O	PH2076	バッチ捕集	0.2-µm MCE prefilter(0.2-µm)	0-100	L	メソール抽出(0.2-µm)→GC/MS	GC/MS	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.02	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A29	Acrylonitrile	2527-02-1	元素	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N	2016	バッチ捕集	Sampling Tube(100 µm/100 mg/100 mg/100 mg/100 mg)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.001	mg/m <sup>3</sup>	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.01	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○
A30	Acrylonitrile	2527-02-1	元素	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N	2018	バッチ捕集	Sampling Tube(100 µm/100 mg/100 mg/100 mg/100 mg)	0-100	L	メソール抽出→GC/MS	GC/MS	0.001	mg/m <sup>3</sup>	0.005	mg/m <sup>3</sup>	0.01	mg/m <sup>3</sup>	○	○	○	○

図 2.1-7 日本環境化学会指針値に対する分析可能性の検討結果の例（結果の一部）

まだ詳細な解析は完了していないが、全体のうち比較的多くの物質について緊急時 C 基準は達成可能性があり、また、比較的簡単な検討で達成可能性があると考えられる物質も相当数が存在することが分かった。しかしながら、具体的に調査手法として構成するためにはさらに詳細な考察が必要である。

### 2.1.3 まとめ

2014 年度は、緊急時指針値を拡張するための基礎データの収集とデータベース化、およびすでに提案されている大気緊急時指針値を監視するための分析法に関する基礎的情報収集を実施した。

## 2.2 災害時の探索的・迅速分析の構築

### 2.2.1 大気・室内環境調査

#### 被災地における大気調査

##### (1) *In vitro* バイオアッセイを用いる非常時の大気リスクモニタリングのための大気粉じんサンプリング頻度の検討

津波被災後の飛散粉じんや大規模火災の降下煤煙など、大気環境の汚染が懸念される非常時において、大気環境の健康リスクを探索する迅速な分析法が求められている。我々は、その一手法として、*in vitro* バイオアッセイを用いる環境毒性モニタリングを提唱してきた。しかしながら、非常時の汚染大気粉じんの大気リスクモニタリングにとって、比較するための平時のモニタリングデータの蓄積とともにサンプリング時間や頻度などの採取条件の検討が必要であることが示唆された。

我々は、東日本大震災の津波被災地における飛散粉じん曝露の健康リスクの探索のために、被災後4年間、各地の被災地で大気粉じんのサンプリングを行い、*in vitro* バイオアッセイを用いて大気リスクの評価を試みてきた。今回、津波被災地である石巻市内の複数の採取地点及び対照としてつくばの環境影響の季節間や年間データの変動を指標とした分析を試み、非常時における大気リスクモニタリングのための大気粉じんのサンプリング頻度の検討を試みたので報告する。

大気粉じん試料は、すべてハイボリエアサンプラーの石英フィルター上に700 m<sup>3</sup>/分の流量でサンプリング時間を24時間に設定して捕集し、アセトンによる超音波抽出法により調製したものをを用いた。窒素ガスパージにより乾固した試料は、DMSOで溶解して酵母アッセイに供した。環境影響の評価は、化学物質の代謝系酵素誘導に関与し、生体異物センサーと称されるアシルヒドロカーボン受容体(AhR)及び構成的アンドロスタン受容体(CAR)の2種類の遺伝子組み換え酵母の受容体結合活性(アゴニスト活性)の測定により行った。

大気粉じんの採取地点は、石巻市街地の工場・商業施設地区である釜小学校(「釜小」と略)、住宅・商業施設地区である合同庁舎(「合庁」、震災がれきの二次処理(分別・焼却処理)施設である雲雀野(「雲雀野」、およびつくば市街地にある国立環境研究所(「つくば」とした。試料のサンプリング頻度は、2012年度と2013年度は24時間サンプリングを約2週間ごとに月2回ずつ、2014年度は24時間サンプリングを週3日間連続して行い、5月、8月、11月、及び2月の四半期ごとの1回ずつとした。

得られた環境毒性データは、24時間サンプリングによる1回ずつの値の変動幅が大きいため、12年度と13年度は年度ごとに四半期ずつの平均値として、14年度は四半期ごと週3日間の平均値として比較検討した。

粉じん重量( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )は、「釜小」、「合庁」、「つくば」では3年間を通して3地点での顕著な差は認められず、 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ での<sup>3</sup>前後の値で安定していた。しかしながら、「雲雀野」は12年度と13年度において、他の採取地点の2倍以上の値を示し、飛散粉じんによる影響が示された。

大気体積あたりの AhR 活性 (ng/m<sup>3</sup>) は、図 2.2-1 に示すように 12~14 年度を通して、「つくば」の値が「釜小」や「合庁」に比較して 2 倍以上と高い傾向にあることが示され、さらに飛散粉じんの多く見られた「雲雀野」よりも明らかに高い値であり、「つくば」では AhR 活性を強める化学物質が多く含まれる大気粉じんを捕集していることが示唆された。一方、「雲雀野」の 2 年間のデータは粉じん量が多いにもかかわらず低い値で変動することから、がれき処理に起因する飛散粉じん中には AhR 活性に寄与する化学物質が少ないことを意味するものと思われる。

大気体積あたりの CAR 活性 (ng/m<sup>3</sup>) は、「釜小」が 3 年間を通して「つくば」より 2 倍以上の高い活性を示す傾向が見られ、「合庁」も高い傾向がみられた。また、「雲雀野」はがれき処理が開始された 12 年度途中から「釜小」の 5 倍以上と高い傾向を示し、明らかに他のサンプリング地点とは粉じんの質が異なることが示された。飛散粉じん中には CAR 活性を強めるアルキルフェノール類やフタル酸類などが多く含まれているものと思われる。

非常時の大気リスクモニタリングにとって、サンプリング頻度は作業の軽減化やデータ解析の最適化において考慮すべき重要な因子である。環境毒性を指標とした長期モニタリングでは、24 時間サンプリングを 2 週間間隔の間の手法で行った場合でも、四半期ごとの週 3 日間連続による手法で行った場合でもサンプリング地点の特異性を把握することは可能であることが示唆された。

## (2) 東日本大震災における津波被災地大気中 POPs 濃度の経日的変化

東北地方太平洋沖地震における津波被害では、海底汚泥の打ち上げ、被災地域に貯蔵されていた重油の拡散、或いは火災の発生等により多種多様な化学物質が生活環境を汚染した可能性がある。我々は震災後の 2011 年 5 月または 6 月から継続的に採取した大気浮遊粉じんについて、無機元素濃度を測定したところ、後に図 2.2-2

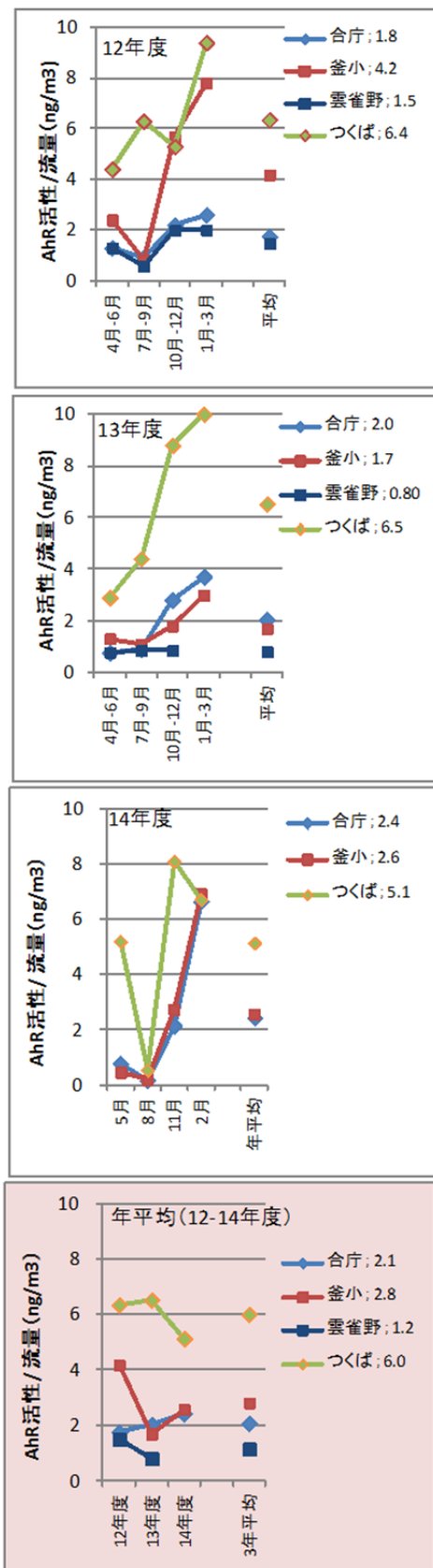


図 2.2-1 大気粉じん抽出部の AhR 結合活性



に示す傾向と同様に被災後から日を経るにしたがって減少していた。Na や Mg など海塩に由来すると思われる濃度が変化していることから、津波堆積物が乾燥して飛散していたものが、処理に伴い減少したことを反映しているものと考えられた。津波堆積物には POPs 類が比較的高濃度に蓄積している可能性があることから、POPs 類も同様に被災後の大気中に飛散していた可能性が考えられた。

そこで、津波被災地大気中の DDT 類、クロルデン類、ヘプタクロル類、及び HCH 類の経日的変化の測定を行った。調査地点は、震災時にオイル火災がみられた気仙沼市、野焼き等が報告された南三陸町および漁港や工場地帯が被害を受けた石巻市のそれぞれ比較的規模の大きい避難所の大気とした。その他、周囲を取り囲むように震災廃棄物の仮置き場が設置されている石巻市内の高等学校、また 2012 年 4 月からは、石巻市内の震災廃棄物二次処理場内も調査地点に追加した。大気はハイボリウムエアサンプラ（HV-700F, HV-1000F 等、いずれも SIBATA）を避難所近傍（屋上など）に設置し、石英フィルタ・ポリウレタンフォーム・活性炭フェルトを用い、毎分 700 L で 24 時間捕集した。2 週間おき、または 1 月おきに継続して捕集した。石英フィルタ・ポリウレタンフォームに内部標準を添加後それぞれアセトンフィルターは次いでトルエンでソックスレー抽出し、濃縮後、一部をフロリジルカラムで精製し、シリンジスパイクを添加して GC-HRMS で定量した。必要に応じて DMSO 分配も追加した。そのほか、EPA16 成分のうちナフタレンを除いた 15 成分、メチルフェナントレン、レテンの 17 種の多環芳香族炭化水素（PAHs）も測定対象とした。これらは POPs 類と同様に処理して内部標準を添加後 GC-HRMS で定量した。

図 2.2-2 には震災がれき仮置き場に隣接した地点の POPs 濃度を 2011 年 6 月から 2012 年 3 月まで追跡した結果を示した。被災後から濃度が減少したものの、9、10 月頃に再び上昇し、その後低下した。この秋口の上昇傾向は Zn, Mn, Cr 等でも観られたが、乾燥時期を迎えた影響や、がれきの移動作業などの影響が考えられた。

震災がれきの二次処理施設（雲雀野）では、1 基で焼却が開始された 2012 年 4 月から 5 基でフル稼働を始めた 2012 年 8 月を経て、処理がほぼ終了した 2013 年 12 月まで継続的に調査した。その結果、POPs 類の合計濃度は 2012 年、2013 年ともに 6、7 月から 9、10 月にかけて高くなった。また、2013 年 3 月 7 日は高

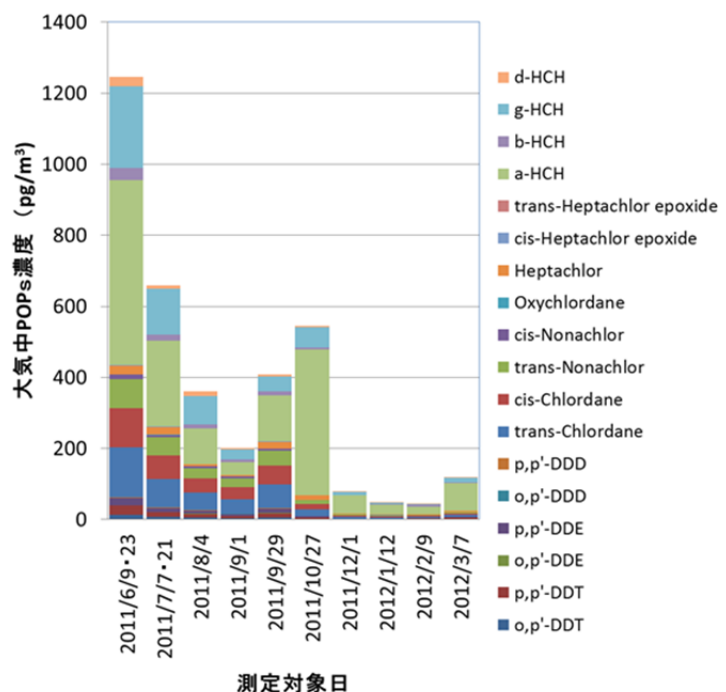


図 2.2-2 震災がれき仮置き場隣接地（南境）における大気中 POPs 類濃度の経日変化

い値を得た。

一方、同試料中の PAHs 濃度では異なる経日変化が観察された。即ち、測定対象とした 17 成分の PAHs 合計濃度は 11, 12 月にピークがあった。震災瓦礫の二次処理施設内では、1 基めの仮焼却炉が稼働した 2012 年 4 月から PAHs 濃度が上昇し、5 機の仮焼却炉が稼働した 8 月を超え、11 月にピークを迎えた。この変化は一般的な大気中 PAHs 濃度の季節変化とほぼ同様であった。POPs 類と PAHs 類の挙動の違いは、その発生源が異なることを示唆している。気象庁データによれば、雲雀野における風向は夏季に南から、冬季に北西から吹く頻度が高い。震災がれきの篩分別は採取地点の南側、焼却施設は西側に位置することが影響している可能性があり、詳細な検討が必要である。

## **緊急時における大気等調査のための技術的・体制的検討**

東日本大震災の被災地環境調査を実施した経験から、我々は初動の重要性を痛感した。例えば前項に示したように、大気中の汚染物質濃度は被災後に高く、その後、日を経るにしたがって減少する。我々が測定できたのは被災後約 2 か月後であり、実際の被災時には更に高レベルの汚染があったことが想像できるが、その測定はできなかった。しかし、実際に被災時の調査を実施するためには、緊急時における大気等調査の技術的・体制的検討が必要であることから、平常時から緊急時における環境調査体制やその手法について検討に取り組んできた。

### **(1) 事故及び災害時の大気調査トレーニング**

前項で実施した平成 26 年度の被災地調査においては、ハイボリウムエアサンプラを現場に持ち込み大気試料を採取するトレーニングと位置づけて実施した。また宮城県保健環境センターとの共同研究として実施した。即ち、ハイボリウムエアサンプラや必要な資材を梱包した移動用コンテナを準備し、国立環境研究所を早朝に出発、石巻市で地方環境研究所担当者と合流した。合流後、市内 3 地点にハイボリウムエアサンプラを設置、即サンプリングを開始した。国環研メンバーは現地に 3 連泊し、24 時間おきにフィルター、ポリウレタンフォーム及び活性炭フェルトの交換作業を実施した。

回収した試料は宿泊先に持ち帰り、整理・梱包してクーラーボックスに保管した。連日のフィルター等交換には地方環境研担当者も同行した。平成 27 年度は、このトレーニングを年 4 回実施した。この中で、輸送中のガラスシャトルの破損等、いくつかのトラブルが発生し、都度、移動用コンテナの梱包剤の改良を進めた。また現場作業に効率的な記録用紙の順次改良を進めてきている。現在、出動可能な状態のハイボリウムエアサンプラ 3 台、捕集資材コンテナ 3 個を常備している。

### **(2) 消防機関における化学物質調査体制の視察**

緊急時における環境中の化学物質調査を実施している実例を学ぶため、消防機関への視察を行った。まず消防大学校消防研究センター 特殊災害研究室、地震等災害研究室を視察した。続いて広島市消防局特別高度救助隊、広島市中消防署特殊災害対応隊の視察を行った。

消防機関の特殊災害部隊では、サリン、ソマン、マスタードガス、塩化水素、シアン化ガス等の

有害ガスを測定するためのハンディタイプ装置（LCD3.3、ChemPro100、FP-100等）、ポータブルタイプの気体分析装置（Gas ID等）、液体・固体及び粉末分析装置（Haz Mat ID等）のほか、バイオエアロゾルの捕集装置（Bio Capture等）、同定装置（Rapid Bio Alert, BTA テストストリップスなど）を整備している。更に化学防護服、除染シャワーなども所有している。

火災はもちろんのこと、事故・災害時の初動機関でもある消防機関における化学分析の目的は、消防隊、救助隊が現場に突入可能かどうかの判断が第一であり、数分以内に判断できる必要がある（判断できない場合は化学防護服を装着して突入してしまう）。我々の想定している環境化学物質の緊急測定とは時間軸や優先順位が異なるため、単純に行動を共にするような連携は適切でないと思われた。一方、消防機関においても、緊急時における汚染化学物質の同定のために、平時データの蓄積を開始しているなど、環境調査と同様の手法による取組みも始まっている。

現時測定データの同定判断に環境化学研究の成果を適用することなどの部分では連携が可能と考えられた。

### (3) 地方自治体における事故・災害事例調査

国立環境研究所では、東日本大震災後の緊急環境調査の実施を通じた経験を踏まえて、地方自治体・地方環境研究所と国立環境研究所との間で非常時・緊急時の迅速な体制を準備しておくことの必要性を認識してきた。そこで平成24年度に所内の関連する複数の研究センターからなるタスクフォースを構成し、緊急時における環境調査体制について検討を続けてきている。

平成26年4月には平成25年度の活動報告書をまとめ、地方環境研究所所長及び都道府県・政令市環境担当部局長会議ご参画部署並びに環境省関係部署に送付したところである。

平成26年度は、各地方環境研究所が保有している事故・災害対応事例を集約し、共有するとともに、課題の洗い出しや今後の体制構築に向けた検討を行うことにした。上記の具体的な検討内容として、地方環境研究所にアンケート調査を行いたい旨平成26年度全国環境研協議会第1回理事会において国立環境研究所より提案し、協力の承認を得て実施した。

なお同様の調査は、平成17年度に国立環境研究所が実施した「事故時等の地方環境研究所等における対応事例調査」があるため、今回の調査対象とする事例は平成18年度以降のものとした。今回は事故事例の技術面と体制面、将来構想とについて調査したが、本稿では技術的な部分について記載する。

表 2.2-1 報告事例の分類

分類	事例数	例
災害	5	東日本大震災、新潟県中越地震、大雨
事故	112	魚のへい死、水質汚濁、大気汚染、火災、鳥類のへい死、流出事故、ヘリ墜落 など
その他	3	鳥インフルエンザ、海岸への漂着物
事例なし	12	



調査票は国内の全国環境研協議会に加盟している全 67 機関に配布した。このうち 50 機関から回答が得られた（回収率 74.6 %）。このうち事故は 112 件、災害は 5 件、その他 3 件だった。事故に係る汚染者／原因物質が同定できた事例はうち 52 件と、ほぼ半数に過ぎなかった。112 件の調査事例のうち 81 件は水質における異常で、大気（4 件）、土壌（3 件）と比べて特段に多かった（表 2.2-1、表 2.2-2）。

**表 2.2-2 事故発生に伴い発生した異常 (n=112)**

水	大気	土壌	騒音・振動	悪臭	地盤沈下	その他
81	4	3	0	1	0	23

上記の事故時等に利用した機器は pH メータや吸光分光光度計などの汎用機器から GCMS、LCMS などの高額機器も利用されていた。一方、対応時に必要だが不足した機材・機器等があったか、との質問に対し、132 件中 24 件があったと回答している。大量の試料を測定することになり、急遽ポリ瓶、フィルター、試験管等の消耗品やキャニスターが不足した例や、震災被害により必要な装置が破損して使用できなかった場合などがあった。また界面活性剤の測定用に LC-MSMS、アスベスト測定用の走査型電子顕微鏡等の回答例もあった。不明ガスの同定のために検知管を利用した例があったが、複数種類の検知管が必要で対応に苦慮した例も報告されている。一方、必要な装置を保有していなかったものの、「県内公設試験研究機関機器施設相互利用制度」を活用して対応したとの事例もあった。特に高額機器や、維持に経済的・人的コストがかかる装置については、県内に留まらずブロック単位での相互利用制度の実現を検討する価値があると考えられた。

**表 2.2-3 対応時に参考とした文献等 (n=132)**

あり	なし	無回答
35	64	33

対応時に参考とした文献については、約半数が「なし」と回答された（表 2.2-3）。このことから、事故・災害における事例を全国で集約し、特に技術的なマニュアルを整備することの必要性が浮かび上がった。今後は各地方環境研究所が保有する事故対応事例の学び合いの場を設け、将来的にはマニュアル作成に向けた取組みをしていく予定である。

これらの調査事例の詳細な集計結果は、全国環境研協議会の会員機関、自治体担当部署に送付済みである。

## 2.2.2 探索的・網羅的高度分析

### はじめに

周知された既知物質を測定する標的分析に対して、探索的・網羅的分析（非標的分析）とは、サンプルプロファイリングを介して基準からの差異を探ることにより未知物質を特定し、同定を行う

分析手法である。非常時の初期調査では、環境媒体中に「どのような化学物質が存在しているのか」を迅速かつ正確に把握する必要があるが、現時点において、その目的を満たすには飛行時間型質量分析計（TOFMS）を用いた分析手法が最適と考えられる。特に高分解能型 TOFMS を用いたガスクロマトグラフィー/質量分析法（GC/HRTOFMS）や液体クロマトグラフィー/質量分析法（LC/HRTOFMS）には、「高感度分析」、「高速マススペクトル測定」、「幅広い質量範囲での精密質量スペクトル測定」といった特長があり、得られる情報から未知物質の組成推定を行うことができる。その一方で、試料に含まれる未知物質をできる限り多く検出するためには、試料精製の省略あるいは簡略化も重要となる。例えば、標的分析における硫酸処理や各種カラムクロマトグラフィーは夾雑物の除去には非常に有効であるが、探索的・網羅的分析においては検出すべき物質の変性・除去を促進するかもしれない。また、環境中の化学物質の分析では、試料精製に最も時間（4日間程度）を費やすことから、探索的・網羅的分析では最低限の試料精製に留めることが迅速性においても好ましいように思える。ただし、このような試料を単に GC/HRTOFMS や LC/HRTOFMS に適用しても、イオン化障害に加えて、得られるクロマトグラム上には分離能の不足に起因する幅広のピークや重複したピークが存在することから、正確な検出・同定を行うためには装置やデータ処理に関して更なる改良が必要となるだろう。その解決策のひとつとして、クロマトグラフィーによる分離能の拡張が挙げられる。包括的二次元 GC（GCxGC）は、高分離能 GC 手法として香料分析や石油化学などの分野で実用化されつつあり、環境分析への応用も徐々に広がりつつある。この方法では、極性の異なるカラムを 2 本直列に接続し、その途中で各成分の冷却捕捉と熱放出を数秒間隔で連続的に繰り返すことにより、各ピークの特に関する情報量および分離能（ピーク容量）を増す仕組みとなっている。また、ピーク幅がシャープになり分離能の向上に伴う見かけの S/N 比が大幅に改善するため、より高感度な分析を行うことが可能となる。

そこで本課題では、高感度・高精度・迅速性を兼ね備えた、より正確な化学物質の探索的・網羅的検出同定法の開発を目指した。特に今回は、図 2.2-3 に示すように、選択性に優れた GCxGC-HRTOFMS を分離検出器に用いる熱脱着（TD）法に基づいて、大気および水質中の化学物質の迅速同定を試みた結果を報告する。

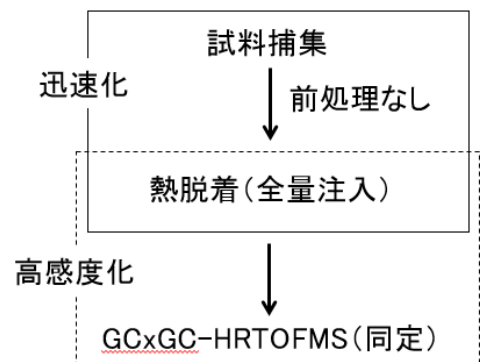


図 2.2-3 熱脱着分析の概念図

## 研究実施方法

大気試料における化学物質の捕集は、柴田科学製ミニポンプ MP-Σ30 に吸着剤の充填されたガラス製小型捕集管（長さ 60mm、内径 5mm）を取り付けて実施した（図 2.2-4）。一方、水質試料における化学物質の捕集は、ポリジメチルシロキサン（PDMS）が表面に非常に薄く塗布された攪拌子（スターバー、長さ 20mm、直径 0.5mm）を採水試料中で回転させることにより実施した。ガラス製小型捕集管およびスターバーに吸着した化学物質を GCxGC に導入するため、ゲステル製の加熱脱着装置（TDU）と昇温気化型 GC 注入口（CIS4）を用いた。本課題で用いた分離検出器の概要を図 2.2-5

に示す。GCxGCにはZOEX製KT2006を内部に組み入れたAgilent製ガスクロマトグラフ6890を用いた。図2.2-6に示すように、GCxGCとは2種類の異なるキャピラリーカラムを接続し、モジュレーターと呼ばれる切換器を介すことで1本目のキャピラリーカラムから溶出した成分を連続的に捕獲・放出を繰り返し2本目のキャピラリーカラムへ送るシステムであり、得られるクロマトグラムは縦軸と横軸に時間軸を有するものとなる。1本目のキャピラリーカラムにはGLサイエンス製InertCap 5MS/SIL(長さ60m、内径0.25mm、膜厚0.10mm)を、2本目のキャピラリーカラムにはスペルコ製SLB-IL59(長さ1.5m、内径0.10mm、膜厚0.008mm)



図 2.2-4 捕集管とスターバー

をそれぞれ用いた。HRTOFMSには日本電子製JMS-T100GCを用いた。ガラス製小型捕集管およびスターバーのTDUへの導入にはゲステル製オートサンプラーMPSを用いた。試料導入に際してはTDUでの成分脱着をスプリットレスモードで実施した。一方、GCxGCはコンスタントフローモードで動作させ、モジュレーターでの捕獲・放出の繰り返し間隔は4秒間に設定した。CIS4はソルベントベントモードで動作させた。HRTOFMSは、イオン源温度280度、イオン化電圧45V、イオン化電流0.6mA、MCP電圧2300V、分解能5000、質量範囲m/z50-600、サイクル25Hzに設定し測定を行った。



図 2.2-5 TD-GCxGC-HRTOFMS

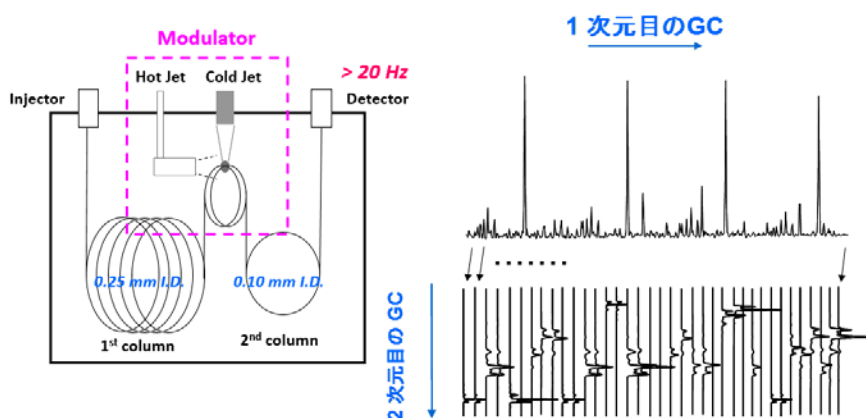


図 2.2-6 GCxGCによる分離の概要

## 結果及び考察

本課題における対象物質として、ポジティブリスト制度やPRTR制度、化審法による規制物質等が想定される。その中でもポリ塩化ビフェニル（PCB）などの残留性有機汚染物質（POPs）は特に国際的な取り組み優先度が高いことから、まずPOPsをモデル物質に設定し、大気と水質を対象に熱脱着導入を用いた少試料による有機物質の検索同定手法を検討した。

図2.2-7に、POPs標準溶液を用いて熱脱着条件およびGC注入口温度条件を検討した結果を示す。いずれの図も縦軸は検出されたピーク面積である。したがって、ピーク面積が大きいほど検出力が高いものと推測される。この結果から、熱脱着については脱着時の温度と保持時間が重要であり、TDUを常温である初期状態から脱着温度まで加温する速度にはほとんど影響を受けないことが示唆された。一方、TDUから放出された各物質はGC注入口で一旦濃縮されるが、-10度に設定した際には、検出されるピーク面積が減少した。そのため、GC注入口の温度は30度に設定することにした。

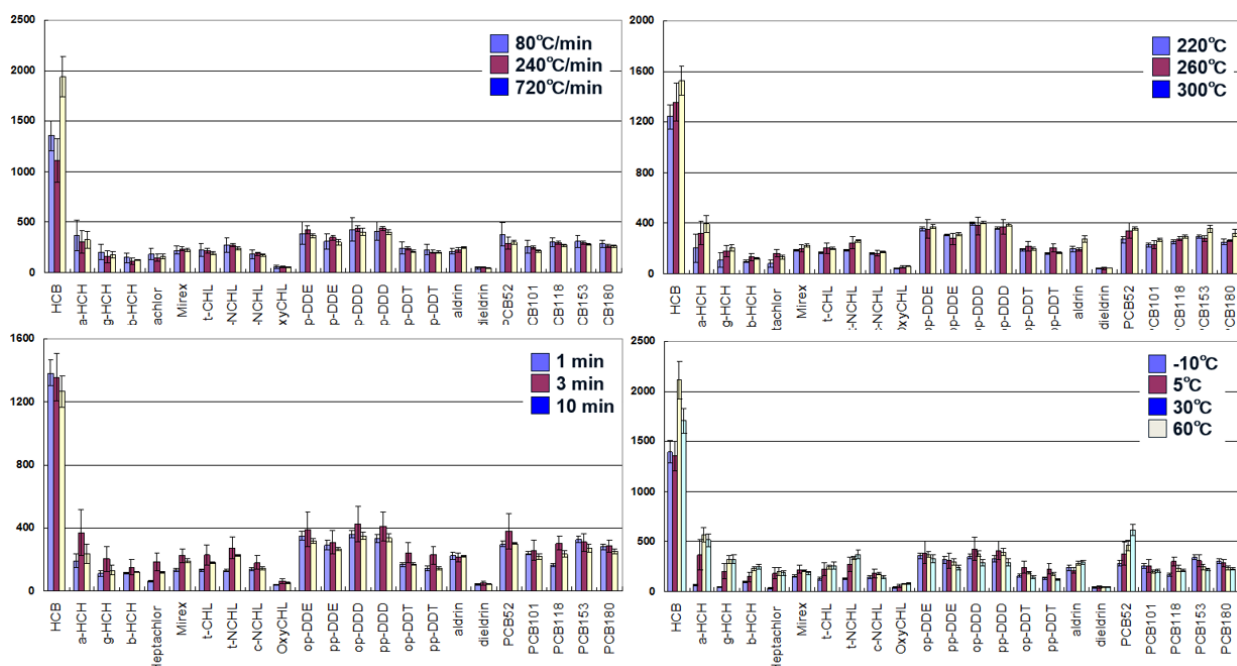


図 2.2-7 熱脱着条件の検討結果

(左上：熱脱着昇温速度、左下：熱脱着の保持時間、右上：熱脱着温度、右下：GC注入口温度)

熱脱着条件およびGC注入口温度条件の最適化を実施した後、標準混合溶液を用いて本システムにおけるGCxGC保持時間の同定を行った（図2.2-8）。なお、横軸は1本目のキャピラリーカラムの保持時間、縦軸は2本目のキャピラリーカラムの保持時間に相当する。これを見ると、通常のGCでは分離が極めて難しいとされるPCBとそれ以外のPOPsが、本システムでは十分に分離されていることがわかる。

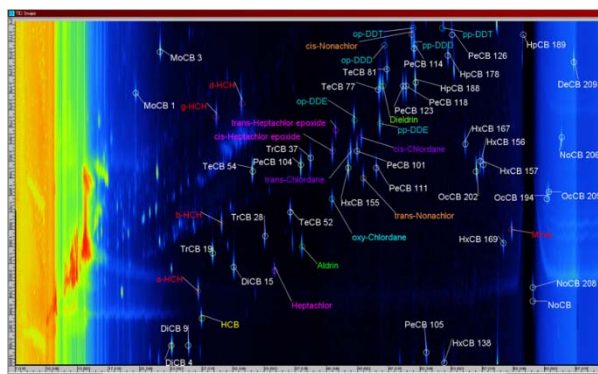


図 2.2-8 POPs 標準混合溶液の同定

つぎに一般環境大気中の POPs の同定について、大容量捕集に基づいた公定法（HV：ハイボリウムエアサンプラーによる捕集後、抽出液に対して十分な前処理を行い高分解能 GCMS で測定）との比較を行った。表 2.2-4 に HV による試料捕集と並行して、小型吸着管を用いた実試料の捕集を行った結果を示す。表中の HV は、ハイボリウムエアサンプラーによる大容量捕集を行い公定分析法に準拠して分析を行った結果を示す。TD は Tenax を充填した小型捕集管による大気捕集を行い、熱脱着 GCxGC-HRTOFMS 分析を行った結果を示す。HV と吸着捕集による大気捕集期間はともに同じ 7 日間に設定し、HV では 1,000m<sup>3</sup>、吸着捕集では 1.0m<sup>3</sup> の大気を捕集した。TOFMS データからの定量演算には、当研究室にて開発した T-SEN 自動処理プログラムを用いた。両者の結果を比較すると、TD は HV に比べて全体的に低めの定量値を示した。このプログラムでは、例えば、定量対象とする成分の近傍に大きな妨害ピークが存在すると誤った定量値を与えることがあるため、今後、設定質量数を見直すなどより定量精度を高めるべく検討を続ける。

今回、大気中の化学物質の探索的・網羅的分析手法として、持ち運びの容易な小型吸着管と小型ポンプを用いた大気捕集に熱脱着-GCxGC-HRTOFMS を組み合わせた。小型捕集管に充填する吸着剤の種類は炭素系など選択の余地があることから、今後は、ポジティブリスト制度の対象物質などより広範囲の物質群に本手法を適用し、大気中の探索的・網羅的分析手法を確立する。小型吸着管内の化学物質を熱脱着により前処理不要で GC/MS 分析できることは、測定の迅速化に大きく貢献できるものと考えられる。



表 2.2-4 各手法における POPs 同定の比較

	TD (n=2)		HV		TD/HV
	average conc.	R/%	conc.	R/%	
a-HCH	27	48	53	63	0.50
b-HCH	2.7	46	5.6	68	0.47
g-HCH	7.4	47	16	73	0.46
d-HCH	0.57	28	1.3	77	0.44
HCB	77	55	98	72	0.79
heptachlor	15	58	16	75	0.91
cis-hepta epo	1.4	59	2.1	83	0.67
dieldrin	5.6	56	10	92	0.56
endrin	0.26	60	0.32	84	0.81
o,p'-DDD	0.1	62	0.13	93	0.79
p,p'-DDD	0.073	47	0.11	95	0.66
o,p'-DDE	0.3	50	0.39	88	0.76
p,p'-DDE	2.8	54	3.7	86	0.76
o,p'-DDT	1.3	49	1.8	105	0.72
p,p'-DDT	1.5	56	2.8	90	0.52
cis-chlordane	40	-	57	-	0.70
trans-chlordane	38	51	72	86	0.52
cis-nonachlor	4.6	57	6.7	92	0.68
trans-nonachlor	31	56	55	83	0.55
oxychlordane	0.89	57	1.3	77	0.68
mirex	0.01	42	0.01	85	1.00

つぎに水質試料における化学物質の探索的・網羅的高度分析として、スターバー抽出を利用した手法の検討結果を示す。対象物質には、大気試料と同様に POPs を選定した。POPs の  $\log K_{ow}$  値の範囲は、4.26 (alpha-HCH) ~7.01 (Mirex) である。事前にコンディショニングした PDMS スターバーをガラス容器入りの河川水 50mL に加え、回転速度 1500rpm にて 360 分間抽出を行った結果、POPs の回収率は 28~87% ( $n=6$ , RSD: 6.7-25%) であった。一般的にガラス容器の表面に存在する活性点に化学物質は吸着しやすいことから、体積比 10%アセトンを追加した後に同様の検討を進めた。その結果、POPs の回収率は 25~95% ( $n=6$ , RSD: 3.6-21%) と変化した。全体的な傾向を見ると、より低い  $\log K_{ow}$  値を有する物質は 10%アセトンの添加により回収率が減少し、より高い  $\log K_{ow}$  値を有する物質は 10%アセトンの添加により回収率が増加したと言える。本手法は、吸着平衡に達するまで一定時間を要するものの、吸着剤塗布済みのスターバーを水試料中で回転させることで化学物質の抽出が実施できることから、非常に操作は簡便である。今後、より広範囲の物質を用いて本法の妥当性を評価するとともに、生下水や廃棄物浸出水などからの化学物質の探索的・網羅的検出同定を試みる。

### 2.2.3 海洋における災害時環境調査の研究

#### 目的

本研究では、近年発生した自然災害の典型である東日本大震災が、東北地方太平洋沿岸域の生態系にもたらした影響を評価することを目的とする。東日本太平洋岸に分布する干潟と内湾域を対象

とし、1) 内湾底泥中に堆積・残留した流出油・火災起源の多環芳香族炭化水素（PAHs）の消長を追跡し、底生動物への負の影響を評価するとともに、2) 津波に起因する沿岸環境と生物群集の変化と回復過程を把握する。以上から、災害による自然環境の改変と、二次災害としての化学物質汚染がもたらした環境影響を把握・整理し、沿岸域の環境回復過程の評価法を例示することを目指す。

### 被災地の干潟生態系への震災影響と回復過程に関する研究

平成 26 年度は①国内の干潟研究者を対象として、アンケートによる広域的な津波影響評価を試みるとともに、②宮城県仙台市にある蒲生干潟において、震災直後から毎年継続している 40～60 地点における底生動物と底質・水質環境調査を行った。また、震災以降に蒲生干潟で得たデータの一部を論文としてまとめ、公表した（Kanaya et al. 2014）。

**宮城県仙台市蒲生干潟への震災影響：**宮城県仙台市沿岸部にある蒲生潟は、市内北部を流れる七北田川の河口北側に発達した奥行き 850 m、幅約 250 m の浅く富栄養な汽水性潟湖である（図 2.2-9）。砂質の干潟部には底生動物が高密度で生息し、多くの魚や鳥が干潟を訪れた。また、蒲生潟は県の自然環境保全地域および国の鳥獣保護区（特別保護区）に指定され、環境省自然再生事業の対象地でもあった（蒲生干潟自然再生協議会 2008）。しかし、震災前の蒲生潟は富栄養化が進行し、夏期には水のクロロフィル *a* 濃度が  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  にも達した。潟奥部には還元的な軟泥が堆積し、底生動物の大規模な斃死も生じていた。

2011 年夏の調査により、ヨシ原、海岸林、海浜植生、大型藻類であるオゴノリ、ボウアオノリの流失と、厚く堆積した軟泥の流失と底質の砂質化が確認された。震災後 3 年を経ても底質は砂質化したままであり（図 2.2-10）、底生動物の生息環境は著しく改善したといえる。底泥からは、原油由来と考えられる *n*-アルカン類と芳香族炭化水素（PAHs）が検出されたが（表 2.2-5）、幸いなことにその濃度は低く、底生動物への負の影響も認められなかった。2011 年夏の調査では、79 種の底生動物のうち、47 種が絶滅または絶滅に近い状態まで減少していた。一方、5 種の多毛類と 2 種のヨコエビ類は、津波で新たに形成された砂底に他種に先駆けて加入し、急速に個体群を回復していた（金谷ら 2012）。この理由の一つに、ヘドロの流失に伴う底質環境の改善が挙げられる。震災後 3 年目を迎え、激減した二枚貝も個体群を回復しつつあり、津波で流失した大型藻類も一年ごとに分布域を拡大している。一方で、ヨシ原や海浜植生はほとんど回復しておらず、ヨシ原に生息する巻き貝のフトヘナタリ（環境省準絶滅危惧、県絶滅危惧 II 類）も、新規加入が確認できない。このように、大規模攪乱後の回復速度は、分類群毎に大きな違いがみられている。

河口部の地形変化と養魚場からの淡水供給の停止により、潟の塩分は震災前より大きく上昇し、



**図 2.2-9 宮城県仙台市蒲生潟。**航空写真は震災後のもの（鈴木孝男氏撮影）。写真左手は七北田川河口、右手は仙台港。Kanaya et al. 2014 より。



生物相の変化が認められている。高塩分環境が続けばヨシは成長が制限され、枯死してしまう。蒲生潟を特徴付けていた汽水性底生動物群集の維持、さらに水鳥の隠れ家として重要なヨシ原の再生にむけて、淡水供給源としての養魚池を含んだ生態系保全策が必要である。

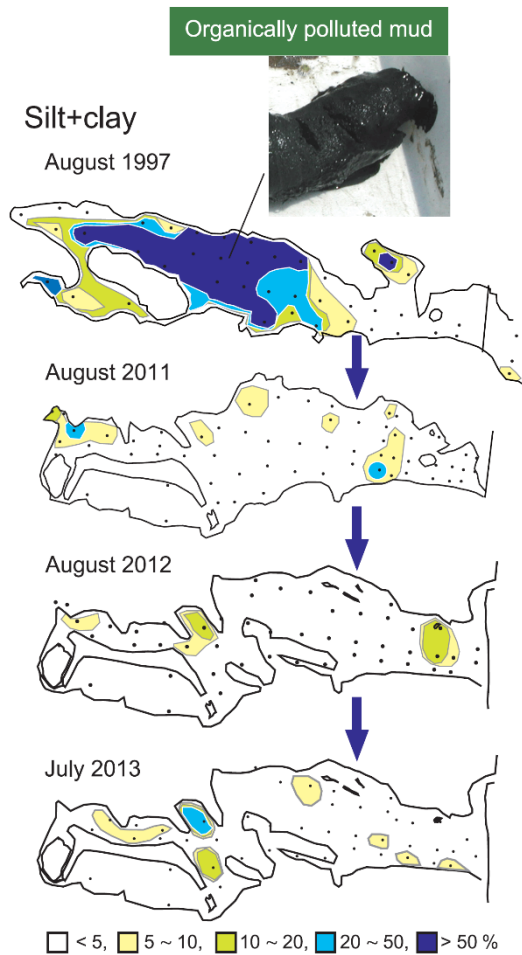


図 2.2-10 津波による蒲生潟の底質環境変化  
震災前(1997年)と震災後3年間(2011~2013)における底土表層の泥分( $\phi$  0.063mm以下の微細粒子;%)の比較。出典は Kanaya et al. 2014。

表 2.2-5 震災後(2011年)の蒲生干潟底泥に含まれる *n*-アルカンと多環芳香族炭化水素(PAHs) 値は潟内で採取した7試料の平均値。右は漂着油、重油およびA重油。出典は Kanaya et al. 2014。

	Sediment ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		Oil ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		
	Gamo (SD)	Strand.	Heavy	A-fuel	
<b>Alkanes</b>					
Total <i>n</i> -alkanes ( $\text{C}_{12-38}$ )	875 (476)	29641	22194	101589	
CPI $_{\text{C}_{24-34}}$ <sup>1</sup>	1.6 (1.0)	1.0	1.1	1.0	
Pristane	13 (9.3)	576	448	2715	
Phytane	30 (26)	963	285	2750	
Pristane / Phytane	0.55 (0.30)	0.60	1.6	0.99	
<b>PAHs</b>					
Acenaphthylene	0.02 (0.05)	1.8	0.29	174	
Acenaphthene	0.14 (0.11)	14	12	943	
Naphthalene	0.26 (0.21)	4.4	n.d.	2083	
$\Sigma\text{C}_{1-4}$ Naphthalenes	8.5 (6.32)	910	434	102458	
Dibenzothiophene (DBT)	0.65 (0.43)	33	11	1180	
$\Sigma\text{C}_{1-3}$ DBTs	15 (13.6)	328	131	11647	
Anthracene (AN)	0.23 (0.33)	3.6	3.9	228	
Phenanthrene (PH)	5.4 (2.9)	362	161	2291	
$\Sigma\text{C}_{1-3}$ Phenanthrenes	27 (30)	1764	1281	10955	
Fluorene	0.27 (0.22)	68	27	832	
$\Sigma\text{C}_{1-2}$ Fluorenes	6.8 (5.1)	361	397	7839	
Fluoranthene (FLU)	3.8 (3.2)	25	32	73	
Pyrene (PY)	5.9 (4.9)	3.5	2.9	451	
Benzoanthracene	2.6 (2.5)	36	12	9.5	
Chrysene	6.2 (6.0)	231	262	18	
Benzo[b,k]fluoranthene	1.9 (2.1)	29	20	0.41	
Benzo[a]pyrene	3.2 (4.2)	0.51	0.69	1.5	
Benzo[e]pyrene	8.7 (9.1)	2.5	3.4	7.2	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.66 (0.77)	0.38	0.52	1.1	
Dibenz[a,h]anthracene	0.16 (0.22)	0.8	1.0	2.2	
Benzo[ghi]perylene	4.0 (4.4)	n.d.	n.d.	n.d.	
Total PAHs	102 (86)	4178	2791	141192	
$\Sigma$ alkylated PAHs	58 (53)	3363	2243	132898	
PH/AN	76 (83)	100	42	10	
FLU/PY	2.2 (3.3)	7.1	11	0.16	

<sup>1</sup> CPI =  $1/2[(\text{C}_{25}+\text{C}_{27}+\text{C}_{29}+\text{C}_{31}+\text{C}_{33})/(\text{C}_{24}+\text{C}_{26}+\text{C}_{28}+\text{C}_{30}+\text{C}_{32})+(\text{C}_{25}+\text{C}_{27}+\text{C}_{29}+\text{C}_{31}+\text{C}_{33})/(\text{C}_{26}+\text{C}_{28}+\text{C}_{30}+\text{C}_{32}+\text{C}_{34})]$ .  
Sediment samples in Gamo Lagoon were collected in June (n = 1), July (n = 4), and October of 2011 (n = 2).

**アンケート法による広域的な津波影響解析**：東日本沿岸には、仙台湾や三陸沿岸を中心に多くの干潟や塩性湿地が分布し（図 2.2-11）、津波により非常に大きな攪乱を受けた。しかし、その影響に関する広域的な解析は未だなされていない。この理由として、震災直後は限られた時間・予算・労力の中で時間をかけた調査を行うことが困難であったことが挙げられる。そこで私たちは、干潟研究者のネットワークを利用し、アンケートシートを使用した震災影響調査法を検討・試行した。

むつ湾～三浦半島までの 53 干潟を対象とし、大学、独法、地方自治体等に所属する 13 人の干潟研究者にアンケートシートを送付し、回答を依頼した。各研究者が、2011 年度内に実際に現地で見えた干潟の状況について震災前の状況との比較を行い、以下の 23 項目について 0～4 の 5 段階スコアを付けた（項目によっては有/無の 2 段階）。

アンケート項目は

○地形【<sup>1</sup>陸化、<sup>2</sup>地盤低下、<sup>3</sup>干潟面積変化、<sup>4</sup>堤防破壊、<sup>5</sup>瓦礫漂着、<sup>6</sup>新たな干潟の出現】

○底質【<sup>7</sup>粗粒化、<sup>8</sup>細粒化、<sup>9</sup>流失・洗掘、<sup>10</sup>堆積、<sup>11</sup>液状化】

○植生【<sup>12</sup>ヨシ原、<sup>13</sup>海浜植生、<sup>14</sup>海岸林、<sup>15</sup>大型藻類、<sup>16</sup>海草】

○底生動物【<sup>17</sup>貝、<sup>18</sup>カニ、<sup>19</sup>付着動物、<sup>20</sup>種数、<sup>21</sup>生物相、<sup>22</sup>特定種の増加、<sup>23</sup>一時的絶滅】

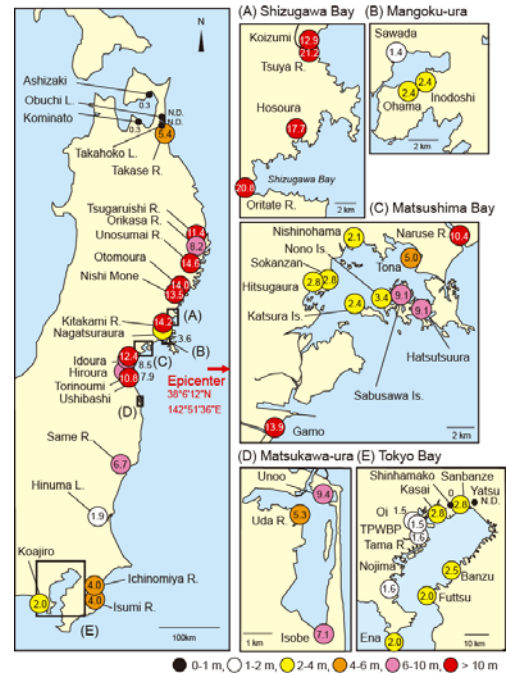
である。スコアは 0：評価出来ない、1：影響なし（0%）、2：わずかに変化（10%程）、3：中庸（50%程）、4：激変（100%近い）とした。

アンケート調査の結果、対象とした 53 地点のうち、解析を行うに十分なデータを 43 地点について得ることが出来た。また、複数の研究者から回答を得られた地点については、その平均値をスコアとして取り扱った。結果を概観すると、干潟の環境、植生、底生動物が受けた影響の大きさは、概ね津波波高（最大浸水高）が 12m を境界に大きく異なっていた。津波波高>12m の干潟では、ほぼ 100%近い干潟の消失、植生の流失、底生動物の死滅が生じた。また、壊滅的な影響を受けた干潟は、三陸地方南部を中心とした地域（宮城県北部～岩手県南部）に分布していた。東日本大震災のような大規模で広域的な災害時においては、干潟生態系への影響調査を行う上で簡便なアンケート法が有効な手法であることが示唆された。

## 引用文献

金谷弦, 鈴木孝男, 牧秀明, 中村泰男, 宮島祐一, 菊地永祐 2012. 日本ベントス学会誌 67:20–32.

Kanaya G, Maki H, Suzuki T, Sato-Okoshi W, Kikuchi E (2014). Glob. Environ. Res. 18:35–46.



**図 2.2-11 東日本の干潟・塩性湿地と津波波高**

最大浸水深—赤：>10m、ピンク：6-10m、橙：4-6m、黄：2-4m、白：1-2m、黒：0-1m。原口・岩松（2011）および佐々木淳（2011 on Web page）から抜粋。

## 三陸沿岸内湾域底質中の芳香族炭化水素汚染実態調査

### 【はじめに（背景と目的）】

2011年3月11日の東日本大震災時に発生した大津波により、東北地方の太平洋沿岸地域で臨海部の石油タンクが破損・流失し、仙台港、志津川湾、気仙沼湾、大船渡湾等では海域への油流出が起こった。

これまで環境省が実施してきた津波被災地での広域の海洋環境緊急モニタリング調査や、東北大学大学院、宮城県保健環境センター、国立環境研究所で実施してきた調査により、志津川湾、気仙沼湾、大船渡湾それぞれの湾奥部において底質中から高い多環芳香族炭化水素（PAH）が検出されてきている。

環境省では平成24～26年度の調査において主に上記の湾の湾口部から沖合にかけての底質中のPAH汚染実態の把握がなされていることから、国立環境研究所ではそれぞれの湾の奥部において小型船での現地調査を行い、浅海部でのPAH高濃度汚染域の実態把握を行ってきた。平成26年度は過去調査を行っていなかった志津川湾内では5地点で調査を行い、気仙沼湾では過年度調査を実施してきた地点の内4地点、大船渡湾では4地点を加えて7地点の計16地点で採泥を行い、PAHの分析を行った。

また既に平成23～24年度において調査を行っている大船渡湾と気仙沼湾においては、震災後から現在に至るまでのPAHの経年変化（増減）についても評価を行った。

以上より得られた知見は、環境省が実施する東日本大震災に係わる被災地における海洋環境モニタリング調査結果を補完し、広域の三陸沿岸海域底質環境における震災起因のPAH汚染分布とその回復度合を評価することをすることを目的としている。

### 【調査方法（調査地点と分析項目）】

平成26年6月ならびに9月の2回に渡り、図2.2-12に示す志津川湾内の5地点、大船渡湾内の7地点、8月に気仙沼湾4地点において採泥を行い、底質中のPAHの分析を行った。測定するPAHは過年度と同様に米国環境保護庁（USEPA）指定の16種にベンゾ（e）ピレン（Benzo（e）pyrene）を加えたものと、ジベンゾチオフェン（DBT）等の石油由来のアルキル側鎖（置換基）を有するナフ

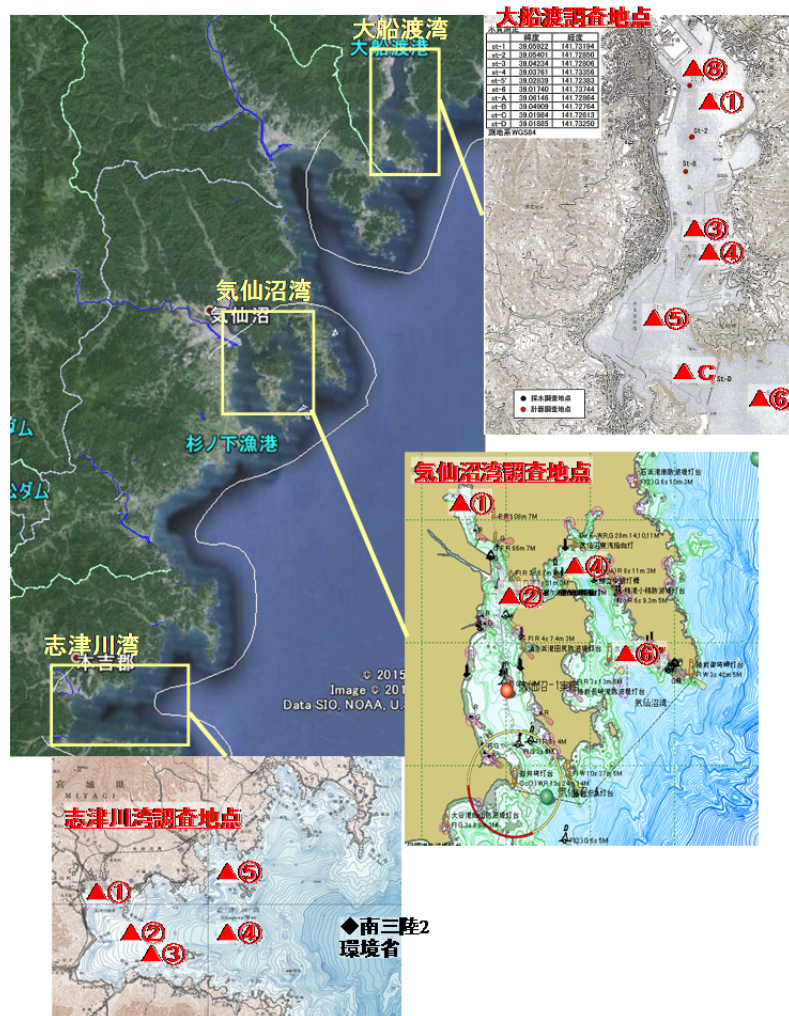


図 2.2-12 三陸沿岸海域内湾における底質調査地点



タレン (C0~4-naphthalenes)、フルオレン (C0~2-fluorenes)、フェナントレン (C0~3-phenanthrenes) ものを対象とした。

## 【結果】

### 1. 空間分布

USEPA 指定 PAH16+1 種 (合計値) については、志津川湾では最湾奥部の①を除く 4 地点において最低 2,110~平均 4,540~最高 6,050ng/g 乾重であったが、①では 88,900ng/g 乾重にも達する極めて高濃度で検出された。①を除く②~⑤における地点間の濃度の増減の明確な傾向は見られなかった。気仙沼湾では最低 6,470~平均 18,700~最高 41,080ng/g 乾重となり、湾奥の港内①から大島東側へ沖合⑥' に行くに従って濃度の明確な増大傾向が見られ、これは平成 24 年度の調査結果と同様であった。大船渡湾では最低 5,630~平均 10,930~最高 20,380ng/g 乾重となり、最湾奥部の St-1 や 8 では低く、建設中の湾口防波堤より沖側の St-6 では最も高くなっていた。以上、調査を行った三つの湾では志津川湾 (※湾奥部の①を除く) の濃度が最も低かった。気仙沼湾と大船渡湾では湾奥部より湾口部に近い沖合での濃度が高くなる傾向を示していた。

石油由来のアルキル側鎖を有する PAH (合計値) については、志津川湾では最湾奥部の①を除く 4 地点において最低 330~平均 890~最高 1,150ng/g 乾重であったが、①では 12,600ng/g 乾重もの高い濃度で検出された。気仙沼湾では最低 3,690~平均 8,660~最高 23,720ng/g 乾重となり、前述の USEPA 指定 PAH16+1 種とは逆に、大島東側の沖合⑥' より湾奥の港内に近くなる (②や①) ほど濃度が高くなる傾向が見られた。このことも平成 24 年度の調査結果と同様であった。大船渡湾では最低 2,540~平均 4,170~最高 8,930ng/g 乾重となり、最湾奥部の St-8 で最も高くなっていたが、この地点における PAH の分子種の組成は他の地点と大幅に異なっており、大震災発生時に流出した重油とは由来が異なることが示されていた。USEPA 指定 PAH16+1 種の場合と同様に、石油由来のアルキル側鎖を有する PAH についても調査を行った三つの湾では志津川湾 (※湾奥部の①を除く) の濃度が最も低く、気仙沼湾の奥部では最も高くなっていた。

### 2. 経年的変化

気仙沼湾と大船渡湾については平成 24 年度にも同様の調査を行っているために、同じ定点での PAH の経年変化を知ることが出来る。気仙沼湾については 3 定点 (②, ④, ⑥') における平成 25 年 (2013 年) の 1 月と平成 26 年 (2014 年) の 8 月の測定値、大船渡湾については 3 定点 (①, ③, ⑤) における平成 24 年 (2012 年) 9 月と平成 26 年 (2014 年) の 9 月の測定値の比較をそれぞれ行った (図 2.2-13)。気仙沼湾では 3 地点で USEPA 指定 PAH 16+1 種の減少が見られた。また石油由来のアルキル側鎖を有する PAH については、地点②において 5 分の 1 にまで減少していた。大船渡湾では地点⑤において USEPA 指定 PAH 16+1 種は 5 分の 1、石油由来のアルキル側鎖を有する PAH は 4 分の 1 近くまで減少していたが、その他の地点では何れの PAH 類も減少は見られなかった。

以上のことから PAH の消長（分解）は湾や地点毎に異なっており、今後も各湾における中長期に渡る定点モニタリングが重要であると考えられる。

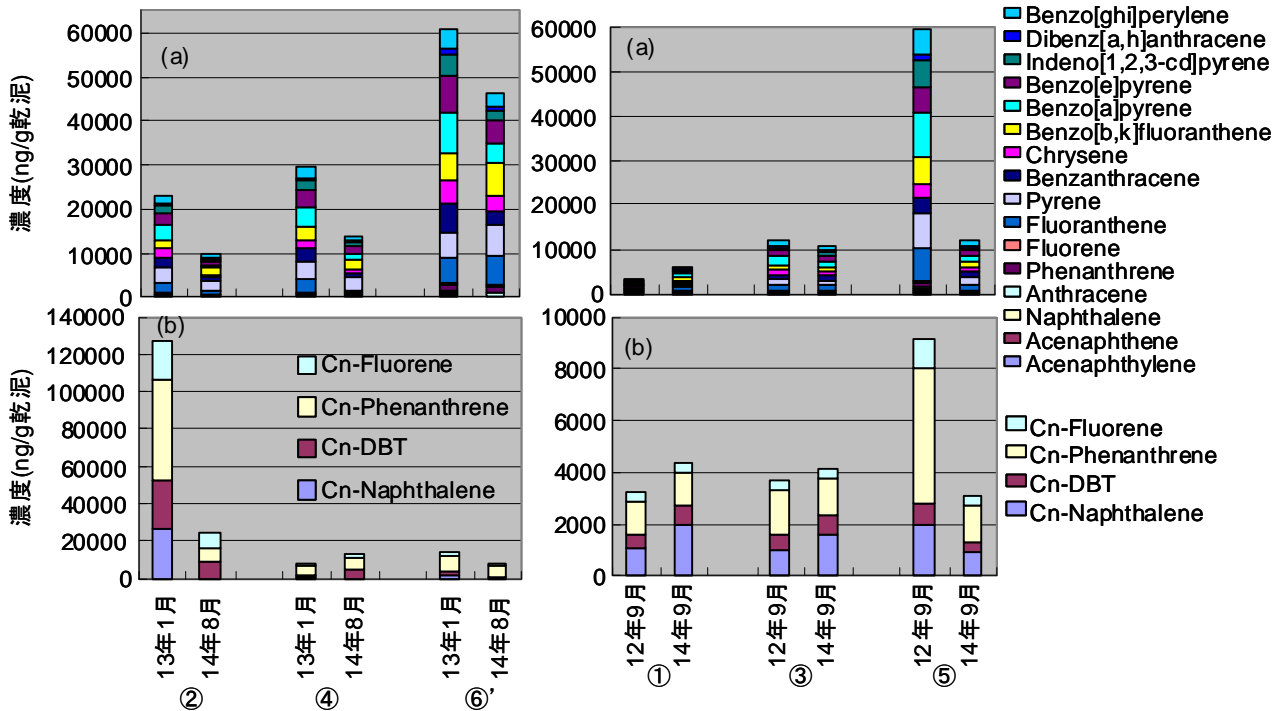


図 2.2-13 気仙沼湾（左）と大船渡湾（右）における PAH の経年変化  
(a) USEPA 指定 PAH 16+1 種, (b) 石油由来のアルキル側鎖を有する PAH

### 2.3 災害時リスク管理の体制に関する研究

日本における災害時、事故時等の緊急環境調査体制および手法の検討のため、本年度は、地方自治体における「化学物質に係る災害・事故対応マニュアル」策定状況の調査および米国の国立環境保健科学研究所（NIEHS）からの情報収集を行った。

#### 2.3.1 自治体における「化学物質に係る災害・事故対応マニュアル」策定状況調査

環境省では、平成 21 年 4 月に、「自治体環境部局における化学物質に係る事故対応マニュアル策定の手引き」を策定し、災害時や事故時などにおける地方自治体での化学物質対策について、マニュアル策定を推奨している。平成 23 年 3 月の東日本大震災を受けて、各自治体における化学物質の対策の必要性は増大している。

本調査は、全国自治体における化学物質に係る災害・事故対応マニュアルの策定状況や内容を広域的に収集・整理し、今後導入・強化すべき災害対策策定の際の資料とすることを目的として実施した。

全国 150 自治体（47 都道府県、20 政令指定都市、43 中核市、40 特例市）の環境部局を調査対象とした。ただし、対象 150 自治体のうち PRTR 経由事務を担っている 47 都道府県と政令指定都市、中核市等の 89 自治体は平成 26 年度に環境省総合政策局環境保健部環境安全課が実施した同様の調査の対象となったため、環境省の調査結果を活用することとし、本調査対象からは除外した。調査は、各自治体環境部局への調査票郵送により行った。回収率は 100%であった。

環境省が平成21年に作成した「自治体環境部局における化学物質に係る事故対応マニュアル策定の手引き」（以下、「手引き」という。）を知っていたと回答した自治体は都道府県で77%、政令指定都市で89%、中核市で56%、特例市で50%であり、全体では65%であった（図2.3-1）。

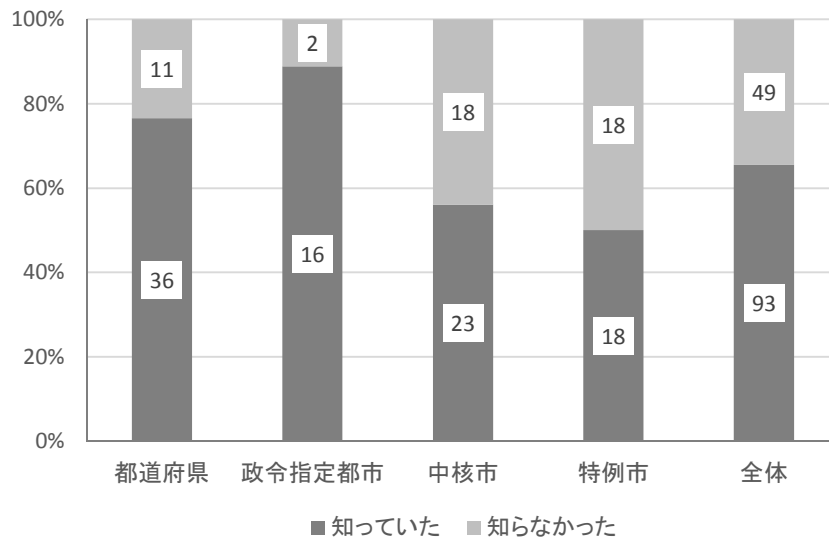


図 2.3-1 手引きを知っていたか

手引きを知っていると回答した93の自治体のうち、読んだことがあると回答した自治体は、都道府県で83%、政令指定都市で81%、中核市で96%、特例市で89%であり、全体では87%であった（図2.3-2）。

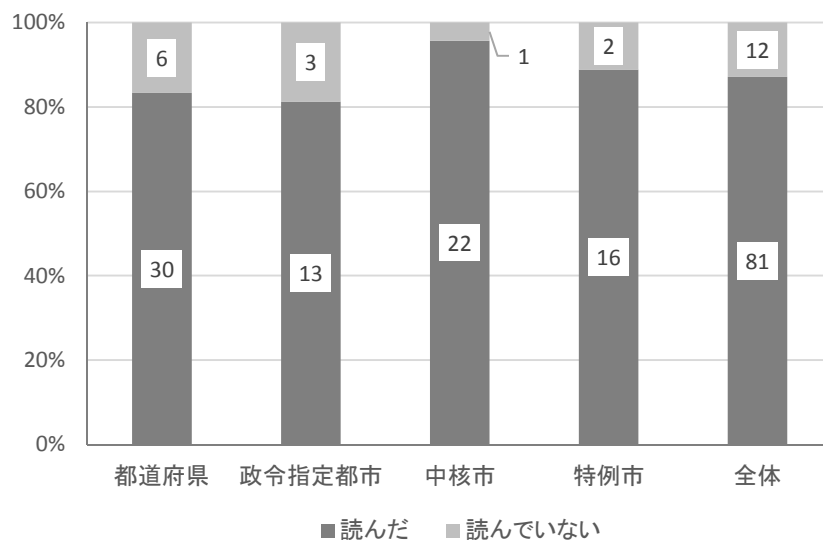


図 2.3-2 手引きを知っていた自治体について、手引きを呼んだか

化学物質に係る事故対応マニュアル等を作成している自治体は、都道府県で34%、政令指定都市で22%、中核市で29%、特例市で11%であり、全体では25%であった（図2.3-3）。なお、集計は自治体の回答によるものであり、内容については、加味していない。

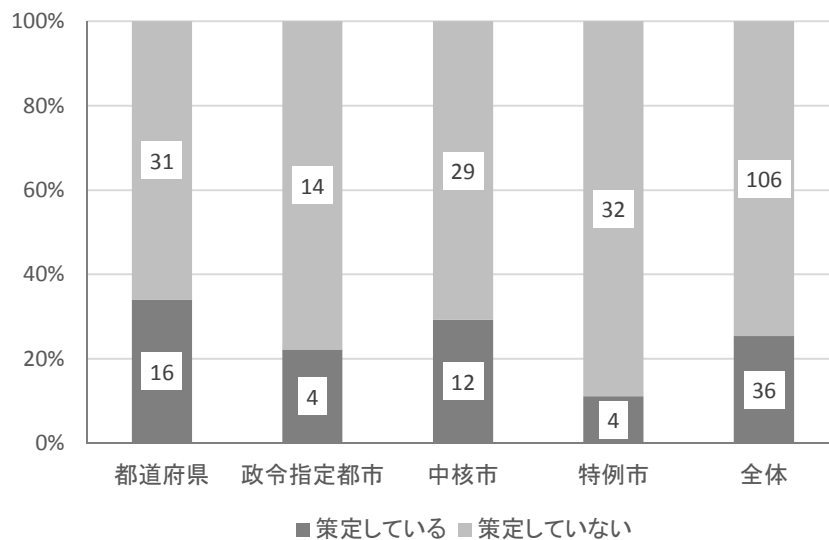


図 2.3-3 化学物質に係る事故対応マニュアル等策定状況

手引きを知っており、かつ読んだことがあると回答した 81 の地方自治体において、化学物質に係る事故対応マニュアル等を策定している自治体は、都道府県で 40%、政令指定都市で 23%、中核市で 36%、特例市で 13%であり、全体では 31%であった（図 2.3-4）。

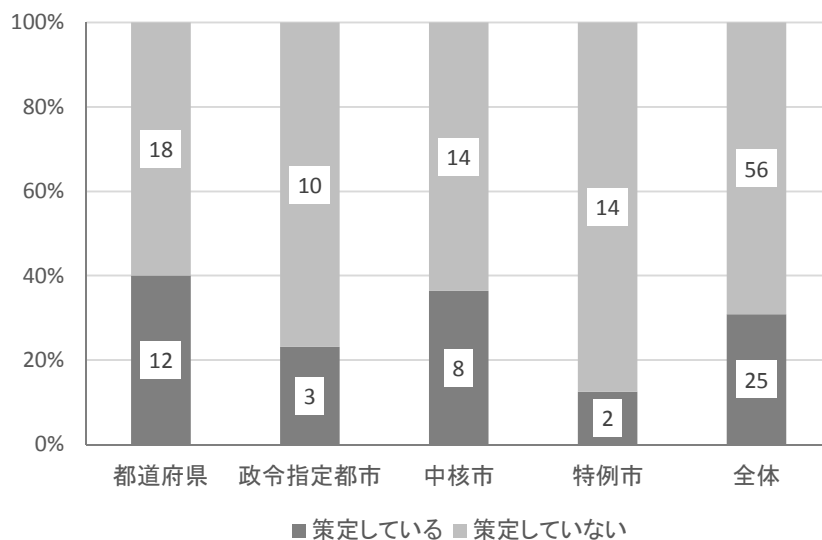


図 2.3-4 化学物質に係る事故対応マニュアル等策定状況（読んだことのある自治体のみ）

現時点でマニュアルを策定している自治体は、36 自治体（25%）であり、またマニュアルの内容自体もさまざま見られた。今後、自治体から提供されたマニュアル等を分析し、より簡単にマニュアル策定ができるような、パターン化したテンプレート等を作成する予定である。

### 2.3.2 米国国立環境保健科学研究所からの情報収集

米国国立環境保健科学研究所（NIEHS: National Institute of Environmental Health Sciences）において



は、米国国立衛生研究所 (NIH: National Institutes of Health) における災害時対応研究 (Disaster Research Response) を主導しており、主席医官および担当研究者と会談し、情報収集を行うとともに、今後の協力について協議を行った。

NIH においては、災害時の人を対象とした公衆衛生科学的な研究について、通常の医学的研究倫理審査体制の下に、特別な研究倫理審査体制を構築し、災害発生時に迅速に対応できるよう、研究ツールの事前承認を進めている。災害時の迅速な公衆衛生対応には、過去の災害における事象の研究が不可欠であると認識されているが、そのための重要なデータの収集は、災害発生直後に開始しなければならない。災害時に必要な対応は、その時間的フェーズによって変化するため、現実に災害現場に必要な公衆衛生対策は、実際の災害現場から得られるデータからのみ研究できるという考えの下、連邦政府機関と連携しながら、データ収集ツールの開発を行っている。注目すべき点は、災害直後の救急救命フェーズにおいても、公衆衛生研究を行おうとしているところである。これらのツールは、将来的に公開されるものであり、日本における災害時公衆衛生研究にも応用できるものと考えられる。

### 2.3.3 まとめ

2014 年度の調査では、自治体での化学物質に係る事故対応マニュアル策定が進んでいないことが明らかになった。その理由については、今後分析を行う予定であるが、テンプレートの提示など、当研究所が貢献できる点が認識された。日本における対応の検討の際には、各自治体の状況等の勘案も必要と考えられることから、自治体環境部局および地方環境研究所との連携も視野に入れながら、検討を進めていく予定である。

また、災害時における現状把握の調査のみならず、現災害の教訓を将来の災害時対応に生かすためには、災害発生直後からの研究開始が重要であることが改めて認識された。NIH および NIEHS と協力しながら、日本における災害発生時研究ツールの開発を行っていくこととしたい。

### 3. 災害環境研究ネットワーク拠点の構築

#### 3.1 災害環境分野に関する情報プラットフォームの構築・発信

##### 3.1.1 背景と目的

東日本大震災の災害廃棄物処理が福島県を除く各県で終了した一方、南海トラフ巨大地震や首都直下地震等といった、東日本大震災を大幅に上回る規模の災害が近い将来発生すると予測されており、これら巨大災害における災害廃棄物処理のあり方について国や関係団体での検討が進められているところである。このような社会情勢において、来たるべき災害への事前の準備を進めるうえでは、東日本大震災における災害廃棄物処理を通して得た経験やノウハウを、災害廃棄物処理の最前線に立つ自治体等に対して効率的かつ効果的に伝達・共有するための情報基盤をいかに構築するかが大きな課題である。

そこで本研究の取組としては、災害廃棄物分野の情報基盤に求められる機能や設計の考え方について整理したうえで、その第一段階として2014年5月に「災害廃棄物情報プラットフォーム(以下、情報プラットフォーム：<http://dwasteinfo.nies.go.jp>)」を開設した。さらに自治体実務者をメンバーとした編集会議を設置し、自治体のニーズに合った情報発信の内容及び仕組みとなるよう工夫しつつ、情報プラットフォームの管理・運営を1年間行った。

##### 3.1.2 情報プラットフォームに求められる機能

今後の災害廃棄物処理への対応力向上を支援するための情報基盤となる情報プラットフォームを構築するうえで、その設計コンセプトを図3.1-1のように整理した。

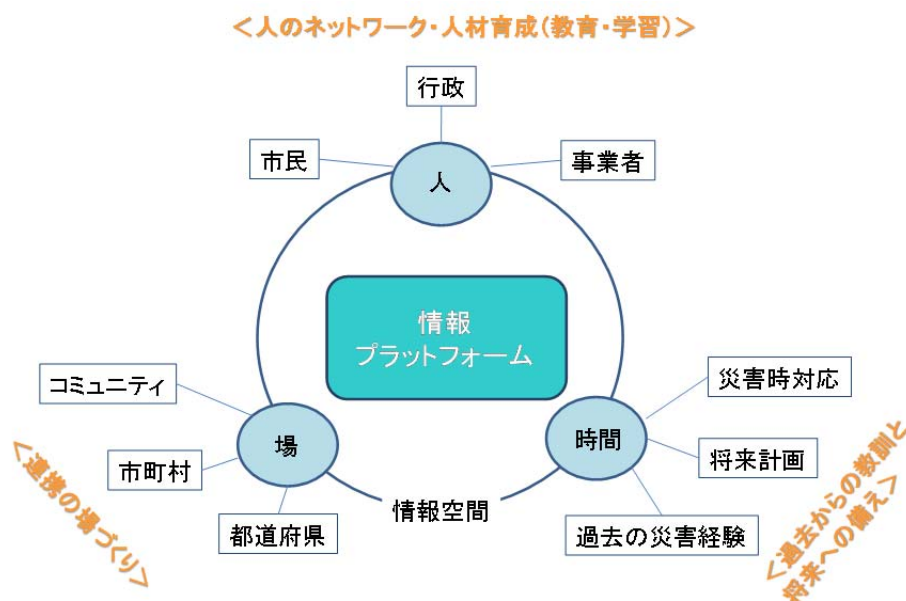


図3.1.1のうち「人」については、人のネットワーク・人材育成（教育・学習）を支援する機能を目指す。すなわち、市民や行政、事業者などの主体間で情報を双方向でやり取りできるネットワークを形成することで、社会関係資本（ソーシャルキャピタル）を向上させ、効率的な災害

対応力形成を支援する。また、個々の人材育成のための教育・学習も支援する。

「場」については、連携の場づくりを支援する機能を目指す。すなわち、コミュニティレベルから市町村、都道府県といった異なる主体が連携できる新たな場の形成を支援する。

「時間」については、過去からの教訓を吸い上げ将来への備えを支援する。すなわち、東日本大震災等の過去の災害経験から知の集約を図り、将来の計画づくりに活かせる情報を発信するとともに、災害緊急時にはその時々でのニーズ情報の収集・発信を双方向で行い、迅速かつ円滑な災害対応を支援する。

なお、上記の人、場、時間の観点からの機能を独立に考えるのではなく、三つの要素を相互に関連させた支援機能を設計する。特に、今回の東日本大震災を経験した人や場を将来とどのように繋ぐかが重要である。

### 3.1.3 情報プラットフォームの設計

図 3.1-1 の情報プラットフォームの設計は理想形であり、最終的には図 3.1.1 に示す機能を有する情報基盤を目指す中で、当面は東日本大震災を含む過去の災害における教訓となる情報を収集し体系的に整理・発信することで、将来の災害に備えるための平時の取組を促すことを目的としたプラットフォームとして開設することとした。主なコンテンツを表 3.1.1 に示す。

表 3.1-1 情報プラットフォームの主なコンテンツ

名称	内容
将来に伝えておきたい災害廃棄物処理のはなし	過去の災害廃棄物処理の経験談 東日本大震災を中心とした過去の災害で廃棄物処理に従事した自治体職員、民間事業者等からの経験談を 1 ヶ月に 1 記事のペースで紹介。
	現在進められている取組レポート 将来の災害に備え、処理計画の策定に取り組んでいる自治体等からの最新レポートを定期的に掲載。
過去の災害に関する資料	過去の地震、水害、竜巻等についての自治体の記録書や検証報告書を掲載（災害廃棄物処理に関する記載箇所も含む）。
災害廃棄物処理計画に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 計画の策定に役立つ各種情報をテーマ別に掲載。</li> <li>■ 既に策定・公開している自治体の処理計画を掲載。</li> </ul>
特派員レポート	各地の頻発災害における廃棄物処理の状況や課題について、被災自治体へのヒアリングをもとにした記事を作成・掲載。

図 3.1-2～3.1-4 に、開設した情報プラットフォームのトップページ、「過去の災害廃棄物処理の経験談」の記事例、特派員レポートの記事例を示す。



図 3.1-2 情報プラットフォームのトップページ

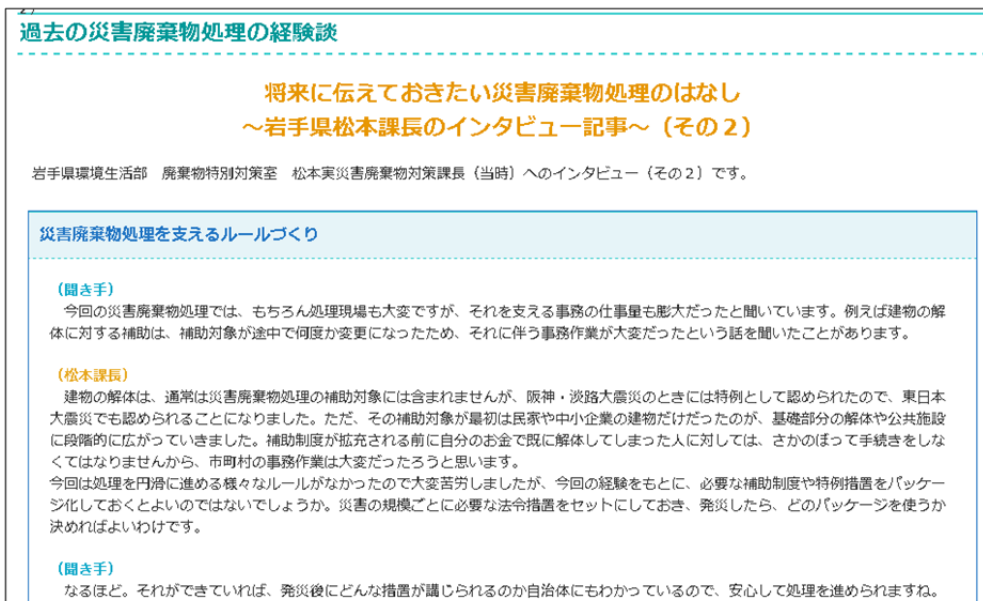


図 3.1-3 「過去の災害廃棄物処理の経験談」の記事例

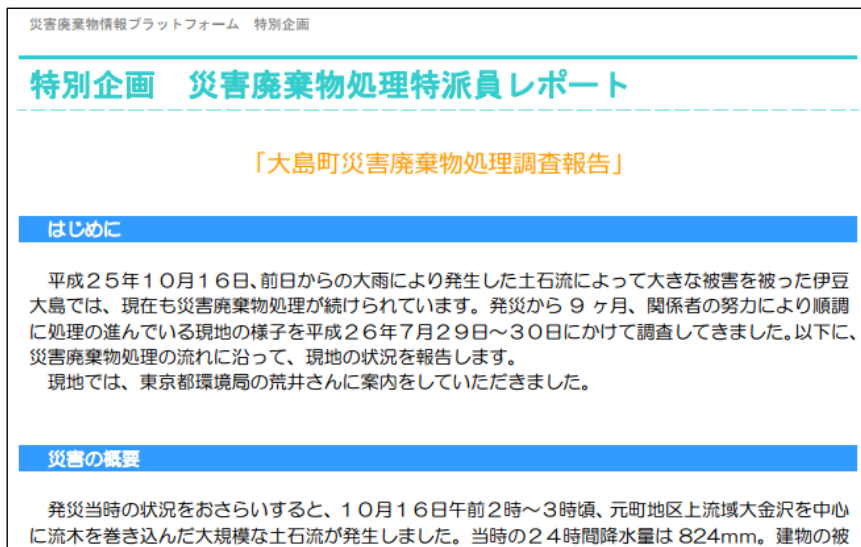


図 3.1-4 特派員レポートの記事例

### 3.1.4 情報プラットフォームの運営

#### (1) 公開以降の追加発信情報

2015年5月に情報プラットフォームを開設して以来、以下のような記事の更新・掲載を行った。

##### 1) 将来に伝えておきたい災害廃棄物処理のはなし

過去の災害廃棄物処理の体験談 (5件)

- ・「インタビュー：岩手県における災害廃棄物処理を語る」その2、その3
- ・「寄稿：いわき市における東日本大震災に係る災害廃棄物等の処理について」その1、その2
- ・「災害廃棄物処理の事業主体と役割分担－阪神・淡路と東日本を比較して－」

将来の災害に備えて現在進められている取組のレポート (3件)

- ・中部地方環境事務所における災害廃棄物の取組について
- ・三重県における災害廃棄物処理計画策定の取組について
- ・愛知県における災害廃棄物処理計画策定に向けた取組

##### 2) 自治体が作成した東日本大震災における災害廃棄物処理業務記録 (3件)

- ・宮城県「災害廃棄物処理業務の記録」
- ・東京都「東京都災害廃棄物処理支援事業記録」
- ・岩手県「東日本大震災津波により発生した災害廃棄物の岩手県における処理の記録」

##### 3) 自治体が作成した過去の災害に関する資料 (2件)

- ・兵庫県「平成21年台風第9号災害検証報告書」
- ・可児市「7.15集中豪雨災害検証報告書」

##### 4) 新たに作成された災害廃棄物処理計画 (3件)

- ・高知県「高知県災害廃棄物処理計画 Ver.1」

- ・ 三重県「市町災害廃棄物処理対策マニュアル
  - ・ 静岡県「静岡県災害廃棄物処理計画」
- 5) 国や業界団体が作成した出版物、マニュアル等 (2件)
- ・ いんだすと5月号「大規模災害と廃棄物処理～東日本大震災を教訓として～」
  - ・ 環境省「災害関係業務事務処理マニュアル (自治体事務担当者用)」
- 6) 最近発生した災害での災害廃棄物処理現場の特派員レポート (3件)
- ・ 大島町災害廃棄物処理調査報告
  - ・ 丹波市豪雨災害現場調査報告
  - ・ 広島市豪雨災害現場調査報告

## (2) 情報プラットフォームへのアクセス状況

情報プラットフォームへのアクセス状況 (2014年9月～12月分) を表3.1-2と図3.1-5に示す。訪問者数は400～600の間を推移している一方、閲覧しているページ数は1,200～2,000の間を推移しており、1人の閲覧者が複数のページを閲覧していることが分かる。

表3.1-2 2014年9月から12月にかけてのアクセス状況

	訪問者数※1	訪問回数※2	ページ※3	バイト (Gb)
9月	631	976	2070	4.92
10月	580	884	2012	5.32
11月	483	961	2028	4.01
12月	406	691	1214	3.54
合計	2100	3512	7324	17.79

※1：IPアドレス別に一意の数 (同じIPから月に何度アクセスしても1カウント)。

※2：同じIPアドレスからの複数回訪問含む。

※3：URLが切り替わる毎に1カウントする。

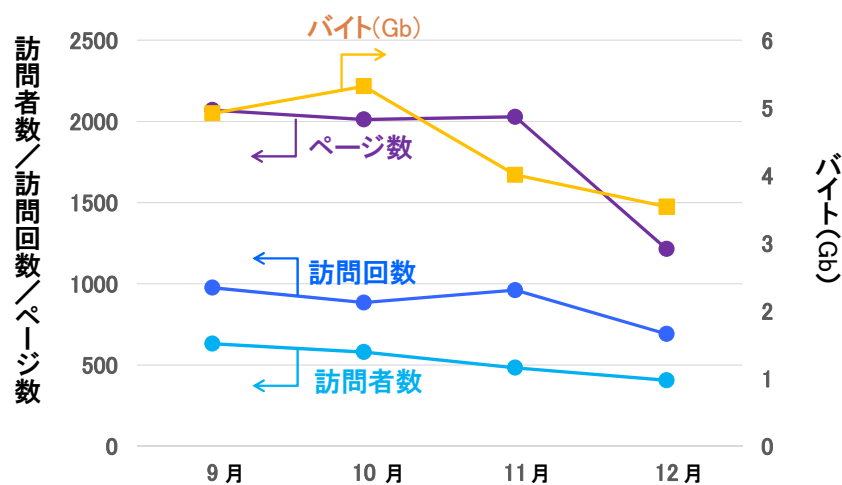


図3.1-5 2014年9月から12月にかけてのアクセス状況

### 3.1.5 編集会議の設置と開催

情報プラットフォームの主なターゲットである自治体実務者が求める情報の内容や発信方法について助言を得、今後の運営方針の参考とすることを目的とし、災害廃棄物処理計画の担当者や災害廃棄物処理の実務経験者からなる編集会議を設置した。今年度は6月に準備会の意味を込め意見交換会を1回と編集会議1回を以下の要領で開催した。

編集会議の概要と行われた報告、議論の内容を下記に示す。

#### <メンバー>

三重県 環境生活部廃棄物対策局廃棄物・リサイクル課 主幹  
兵庫県 農政環境部環境管理局環境整備課 課長  
横浜市 資源循環局適正処理計画部施設課 課長  
岩手県 環境生活部環境保全課 総括課長

- 国立環境研究所
- 廃棄物・3R 研究財団

#### <議題>

1. 現在の情報プラットフォームの概要説明
2. 公開から現在に至るまでの情報プラットフォームの運営実績報告
3. 運営実績と今後の事業計画について
  - ① 情報プラットフォームで扱う情報の内容について
  - ② 2015年度に向けたサイトリニューアルの案について
  - ③ 次年度に計画しているアンケート調査について
  - ④ 民間事業者の参画について

### 3.1.6 各種の情報発信（Web 以外）

情報プラットフォームの広報と、学術分野における研究成果の発信を目的とし、学会イベント等において情報プラットフォームに関する発表を行うとともに、自治体関係者にも周知する活動を実施した。

#### <口頭発表>

- 廃棄物資源循環学会 第25回研究発表会（2014年9月15-17日：広島市）
- 日本災害情報学会 第16回学会大会（2014年10月25、26日：長岡市）
- 廃棄物・3R 研究財団 年次報告会（2014年9月5日：墨田区）
- 全国都市清掃会議 研究・事例発表会（2015年1月21、22日：沼津市）

#### <誌上発表>

・都市清掃（2014年3月）の災害廃棄物特集において、以下の記事を発表した。

森朋子、田中勝、夏目吉行、大迫政浩、平山修久、高田光康、多島良、松崎裕司、大塚康治「災害廃棄物処理に関する知見の共有と今後に向けた人材育成」、都市清掃 Vol.67 No.318 p63-68

#### <チラシ配布>

情報プラットフォームの内容を紹介し利用を呼びかけるチラシを2,000部印刷し、環境省が主催する災害廃棄物に関する地域ブロック協議会等において、自治体担当者をターゲットに配布。



### 3.1.7 今後に向けて

情報プラットフォームの今後の運営にあたっては、継続的に価値ある情報を発信できる体制を構築すること、災害発生時にも活用できるような機能及びシステム基盤を整備すること等が求められる。また、既存の情報を取りまとめるのみではなく、災害廃棄物処理の現場に自ら赴き、その実態や課題をタイムリーに発信する取組を増やしていくことも必要である。今後も情報プラットフォームの運用を通して、我が国における災害廃棄物への総合的な対応力の向上に貢献していく。

## 3.2 災害環境分野における効果的な人材育成プログラムの開発・実践

### 3.2.1 はじめに

東日本大震災の災害廃棄物処理が福島県を除く各県で終了した一方、南海トラフ巨大地震や首都直下地震等といった、東日本大震災を大幅に上回る災害が近い将来発生すると予測されており、これら巨大災害における災害廃棄物処理のあり方について国や関係団体での検討が進められているところである。このような社会情勢において、今後の災害の廃棄物処理について事前の準備を進めるうえでは、効率的且つ効果的に動くことができる人を確保することが災害廃棄物対策として必要不可欠であり、平成25年度に環境省により取りまとめられた「巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて（中間とりまとめ）」<sup>1)</sup> や、「災害廃棄物対策指針」<sup>2)</sup> の中でも、災害廃棄物処理計画の策定とともに、人材育成の重要性が随所で指摘されている。廃棄物処理分野においては、これまで国や地方自治体において個別に必要な知見を学ぶ研修が実施されてきているが、災害廃棄物処理に特化した体系的な研修プログラムは存在せず、東日本大震災等の過去の災害からの教訓や経験を活かした研修プログラムの構築が重要な課題となっている。本稿では、独立行政法人国立環境研究所と公益財団法人廃棄物・3R研究財団で実施した、研修プログラム構築に向けたワークショップの成果を報告し、それを基に災害廃棄物分野における研修のあり方について考察する。

### 3.2.2 人材育成研修プログラムの構築に向けたワークショップ

#### (1) ワークショップの目的

災害廃棄物処理に係る効果的な人材育成研修を構築するためには、災害廃棄物処理を円滑に進めることができるのはどのような人物なのか、すなわち、災害廃棄物処理の研修を通してどのような人材を育成すべきなのかを明確にする必要がある。そこで、東日本大震災の災害廃棄物処理に携わった自治体職員や民間事業者等を中心的なメンバーとしたワークショップを開催し、処理の現場でどのような課題に直面したのか、またそれらの課題をどのように解決したのかを網羅的に抽出したうえで体系的に整理するとともに、将来構築する研修においてどのような能力を育ててゆくべきかを明らかにすることを目的とした。

#### (2) ワークショップの参加者及びグループینگ

本ワークショップには、東日本大震災の災害廃棄物処理に携わった被災自治体の職員15名、民間事業者5名、支援自治体の職員1名、および現在災害廃棄物処理計画を策定中の自治体職員5

名の計 26 名に参加いただいた。これらの参加者 26 名を 6～7 名の 4 つのグループに分けて議論を行った。グループ分けに際しては、被災自治体職員、計画策定中の自治体職員、民間企業の職員がバランスよく配置されるよう留意した。また、災害廃棄物処理に関わる立場が同じメンバーのほうが議論しやすいであろうとの判断から、都道府県職員のグループと市町村職員のグループを大まかに分けることとした。なお、各グループでの議論をスムーズに進めるため、1 グループにつき 1 名、国立環境研究所の職員をファシリテーターとして配置した。

### **(3) ワークショップにおける議論の流れ**

本ワークショップでは、2 日間かけて計 3 回のグループワークを次のように設計した。

#### **1) 災害廃棄物処理の現場で起きる課題の抽出**

1 回目のグループワークでは、災害廃棄物処理の過程、もしくは災害廃棄物処理計画の策定過程で発生した様々な課題を網羅的に付箋に書き出し、それらを模造紙上でグルーピングすることで整理した。この際、課題のグループ毎に発生するタイミングを 4 つに分類（発災前、発災直後、復旧復興期、全フェーズ共通）するとともに、特に重要だと思われる課題を 1 人 3 つまで選出することとした。

#### **2) 課題の解決方法の抽出**

1 回目のグループワークで整理された課題に対し、どのような解決策を講じたか、もしくは講じるべきであったかをグループで議論し、出された意見を付箋に書き出したうえで、模造紙上で整理を行った。さらに、出された解決策をより具体化しながら、重要な課題に対する解決策の詳細な作業項目を検討した。

#### **3) 解決策を実行するために必要な能力の検討**

最後のグループワークでは、2 回目のグループワークで具体化された解決策を実行するために必要な自治体職員の能力を検討した。1、2 回目のグループワークと同様に、出されたアイデアを参加者が付箋に記入し、模造紙に貼り付けながら能力の分類を行った。また、整理後には、特に重要と思われる能力を 1 人 3 つまで選び、投票するという作業を行った。

図 3.2-1 にワークショップのフローを示す。

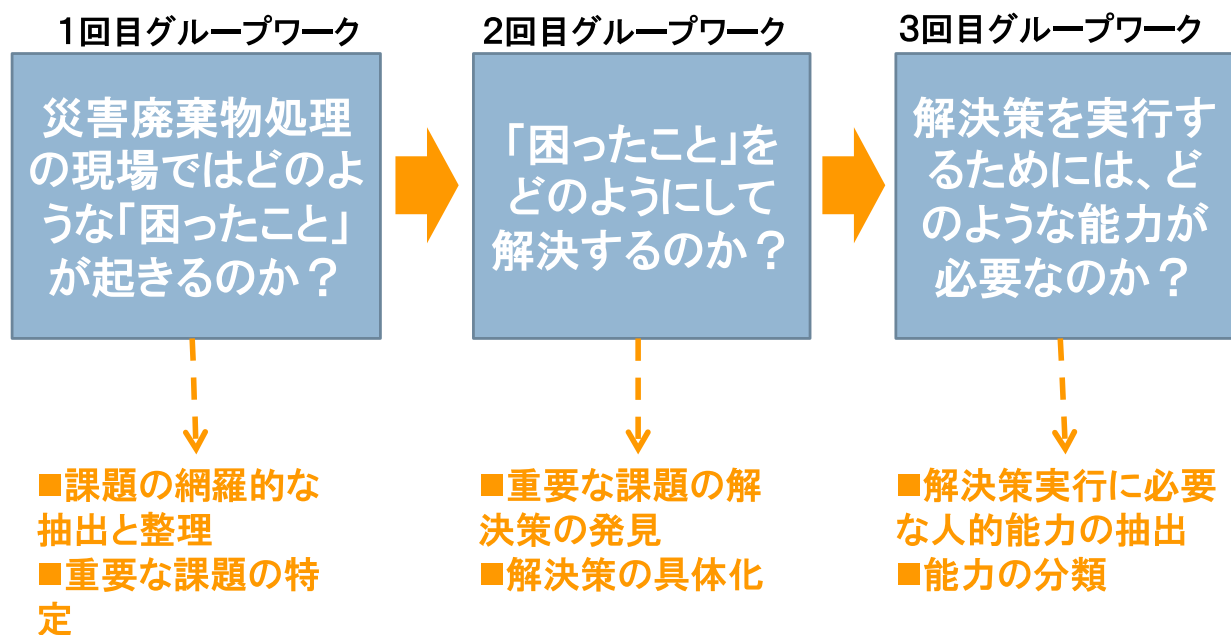


図 3.2-1 ワークショップフロー

### 3.2.3 ワークショップにおける議論の成果

本ワークショップは2014年1月10日、11日と2日間にわたって開催された。図3.2-2にワークショップにおける参加者の様子を示す。参加者による活発な議論の結果、4つのグループからそれぞれ3回分の成果物（意見を記載した付箋を模造紙に貼り付けて整理したもの）が作成・発表された。成果物の一例を図3.2-3に示す。ここでは、必要な能力について議論された3回目グループワークの成果について、事後的に整理した結果を詳細に述べる。出された意見の分析にあたっては、各グループで整理の軸として用いられた「能力を身につけるべき職位」と、「能力の種類」を参考にし、まず身につけるべき能力の種類を「知識」、「スキル」、「マインド・態度」の大きく3つに分類した。そのうえで、知識については身につけるべき対象をリーダー、事務系職員、現場・技術系職員の3つに分けて整理した。スキルとマインド・態度については、職位に関係なく、すべての職員が身につけておくべきものとした。



図 3.2-2 ワークショップ参加者の様子



図 3.2-3 ワークショップ成果物の一例

### (1) 知識

必要知識として指摘されたもののうち、廃棄物の処理及び清掃に関する法律等、廃棄物処理に係わる基本的な法律の知識や、地元の地形や町内会・消防団の組織に関する知識は、災害廃棄物という特定のテーマや職員の立場に関係なく、平時から身に付けておくべき知識として重要だと考えられる。そのうえで、会計検査・災害査定に関する知識や、大規模な予算の管理手法に関する知識等は、事務系職員にとって、大規模な土木工事の積算に関する知識や、再資源化に係る土木関連の知識等は、技術系職員にとって必要と整理できる。また、処理を率いるリーダーには、この他に他部局を含めた災害対応全般に関する知識や、災害時における適切な人的配置に関する知識、部下へのメンタルケアに関する知識等が必要だと考えられた。

### (2) スキル

処理を進めるために必要なスキルは、次の5つにまとめることができた。すなわち、①決断・判断力（限られた情報と時間の中で迅速に判断するスキル）、②想像力（先に起こることをある程度予測して物事を進めるスキル）、③調整・交渉力（相手の立場を考慮しながら粘り強く調整・交渉するスキル）、④説明力（誰にでも分かるように説明するスキル）、⑤情報収集・整理・発信力（膨大な情報を適切に収集・整理するスキル）である。

### **(3) マインド、態度**

処理に際して求められるマインド、態度については、大きく5つにまとめることができた。すなわち、①タフな心と体（過酷な環境やストレスに負けない強い心と体と持っていること）、②物怖じしない明るく前向きな心、③職務に対する責任感、④相手の状況を思いやる気持ち、⑤柔軟に対応しようという態度である。

#### **3.2.4 災害廃棄物研修プログラム設計上の留意点**

本ワークショップを通して抽出された育成すべき能力を踏まえ、災害廃棄物処理研修プログラムを設計するためには、既存の研修がどのような能力の開発を目的とし、どのような手法を用いて実施されているのかを分析する必要がある。ここでは、廃棄物分野と防災分野における既存の研修制度を俯瞰したうえで、災害廃棄物分野の研修プログラムの設計にあたって留意すべき点を考察する。

##### **(1) 廃棄物分野における既存の研修制度**

現在国が実施している廃棄物分野の研修としては、環境省環境調査研究所が「行政研修」として実施している基礎研修、専攻別研修（北九州市において実施）、産業廃棄物対策研修の3つのコースがある。その他にも、公益法人等により、廃棄物関連の財政措置を学ぶコースや、施設を維持管理するための技術的な知識を学ぶコース等が設置されているほか、政令指定都市等では、自治体独自の環境人材育成計画を策定し、自ら研修を実施しているケースが見られる。それぞれの研修内容をみると、関係法令や最近の事例等に関する知識を習得するための講義型の研修スタイルが主であり、施設の運転管理や有害物の測定・分析といった個別技術の習得を目的としている場合は講義に加え、一部演習が含まれているカリキュラムもみられる。その他、施設見学が講義型研修とセットで実施されているカリキュラムがいくつか存在する。

##### **(2) 防災分野における既存の研修制度**

防災分野においては、阪神・淡路大震災を契機として、人と防災未来センターにおいて災害対策専門研修が開発・実施されている。ここでは、受講者のレベルに応じてベーシック、エキスパート、アドバンストの3段階のコースが設計されており、いずれのコースも1回あたり4日間、1日あたり4～5コマの授業で構成されている。このうちベーシックコースは、基本的な知識を学習することで災害対応に必要な「断片的な情報から被害の全体像を推測できる」、「災害発生後の進展過程を想像することができる」、「災害に関連する法制度に基づく業務を円滑に実施することができる」といった、比較的基礎的な能力を高めることが目的である一方、エキスパートコースはそれらの能力を踏まえ、「状況の変化を予測し、各時点において適切な対応方針をたてることができる」、「関連する組織・機関との連携を状況に応じて図ることができる」といった、首長の補佐役として必要な能力を高めることを目指している。<sup>3)</sup> また、エキスパートコースでは、参加者がグループでの議論を通して災害対策本部の最適なレイアウトを作成する授業や、実際のケースをもとに災害時に特有の場面でどのように判断すべきかをゲームを通して学ぶ授業等、ワークショップ形式を取り入れたカリキュラムが設計されている。

この他、防災分野では、平成25年から内閣府において「防災スペシャリスト養成研修」の企画

検討会が開催され、研修を通して養成する人材像と能力、及びそれらを踏まえた研修プログラムの体系がまとめられている<sup>4)</sup>。本検討会は26年度以降も検討が進められ、今後はカリキュラムの具体化や教材の開発等について議論される予定であり、最終的には有明の丘基幹的広域防災拠点施設を活用して行う、国や地方自治体の防災関連職員を対象とした研修プログラムに反映されることになっている。

### 3.2.5 育成すべき能力別にみた災害廃棄物研修の留意点

上述したように、廃棄物分野及び防災分野における既存研修を俯瞰すると、災害廃棄物処理に特化した体系的なカリキュラムはなく、今後は東日本大震災等の過去の災害経験を通して得られた廃棄物処理の知見を伝承するための研修プログラムを新たに構築する、あるいは既存の研修に災害廃棄物研修を組み込む等の取組が必要だと考えられる。また防災分野では、習得すべき能力を体系的に整理したうえで、ワークショップやロールプレイング等、それぞれの能力習得に最適な研修スタイルを取り入れてプログラムを設計していることが分かった。そこで本節では、防災分野での取組を参考にしつつ、今回の筆者らが実施したワークショップを通じて抽出された「研修を通じて育成すべき能力」の枠組みに沿って、災害廃棄物研修を構築する場合の留意点を考察した。

#### (1) 知識

災害廃棄物処理で必要とされる知識のうち、関係法令等の基礎知識については、既存の研修でも取り扱っていることから、これらの研修とセットで受講できるような仕組みを構築する、あるいは基本的知識を有していることを受講の前提条件とする等の配慮が必要である。災害廃棄物処理に特化した知識については、基本的には講師による座学形式の研修が主になると考えられるが、できるだけ実践的な内容になるよう、講義と演習を組み合わせたカリキュラムが望ましい。例えば、国庫補助申請に関する知識の習得の際には、実際のフォーマットと条件を用いて、申請用紙を作成するような研修が考えられる。

#### (2) スキル

ワークショップで挙げられたスキルは、いずれも研修だけで習得するのは難しいが、研修を通して災害時にそのようなスキルが必要になることを再認識し、日常業務の中で意識してスキル習得に励むきっかけになることが重要である。スキル習得を目的とした研修では、講義形式だけではなく、防災分野で活用されているワークショップやロールプレイング等の手法を用いて、できるだけ受講者自らが考え、手を動かすようなカリキュラムが望ましい。例えば、東日本大震災等で起きた実際のケースをもとに、時間や与えられる情報を限定したうえで、グループごとに災害廃棄物処理の対応案を考えてもらうようなワークショップも一案である。

#### (3) マインド、態度

スキルと同様に、マインドや態度を研修だけで習得するのは不可能であり、本人の素養によることも大きい。しかしながら、何故災害時に2.4で述べたようなマインドが特に必要とされるのか、そのコンテキストについて研修を通じて理解することは重要である。例えば、災害廃棄物

処理の経験談をもとに、いくつかのケーススタディを作成し、そのような場面に直面した場合、自分ならどうするのかを受講者同士で話し合ってもらえるようなスタイルの研修が考えられる。

### 3.2.6 まとめ

本稿では、災害廃棄物処理に携わった自治体職員を主なメンバーとしたワークショップを開催し、そこでの議論を通じて、災害廃棄物処理の現場で求められる能力を整理するとともに、廃棄物分野及び防災分野における既存の研修を俯瞰したうえで、災害廃棄物研修の留意点について考察した。今後は整理された能力をもとに具体的な研修プログラムを構築するとともに、他分野における既存研修との連携についてもより具体的に検討を進める必要がある。また、ワークショップ手法を活用することで、参加者同士が問題意識を共有でき、信頼関係を構築することができるような研修プログラムを開発したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 環境省（2014）：巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて 中間とりまとめ。
- 2) 環境省（2014）：災害廃棄物対策指針。
- 3) 照本清峰,越山健治（2011）：地方自治体防災担当職員を対象とした研修プログラムの効果と課題。地域安全学会論文集，14。
- 4) 内閣府（2014）：「防災スペシャリスト養成研修」企画検討会 報告書。

### 3.3 災害環境分野の人的ネットワークの構築

2015年3月14日から18日に、仙台市において開催された第3回国連防災世界会議において、パブリック・フォーラムとして、「災害環境研究シンポジウム-東日本大震災の経験に基づく新たな災害環境学の確立」を開催した。図3.3-1に本シンポジウムの案内を示す。

本シンポジウムでは、河田恵昭関西大学教授とマティアス・ガーシェゲン国連大学教授を招聘し、「巨大災害と環境」「災害リスク低減：自然災害と脆弱性」と題した基調講演を行った。本シンポジウムでは、東日本大震災での被災地における環境回復や環境創造の経験や取り組みについて、国内外の行政、民間、研究教育機関で共有するとともに、災害と環境という視点から東日本大震災の教訓を活かし、次の災害に備えるための枠組みについて議論した。さらに、我が国や海外における災害と環境に関する知見を集約し、『災害環境学』の構築とその実践について議論した。これらの活動を通して、環境を考慮した持続可能な社会が、災害時においても強靱な社会であり、災害と環境という視点から、平時から地域やコミュニティの環境防災力・減災力を向上することが重要であることを発信するとともに、世界の防災文化の発展に向けた防災分野と環境分野とのネットワーク交流を実施した。

図3.3-2に環境研究と防災研究分野との連携について示す。



Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction Public Forum

Symposium on Disasters and the Environment —

# The Discipline of 'Environmental Emergency Research' following the 2011 Tohoku Disaster

17th March 2015 ㊄  
17:30~19:40 (Reception 17:15~)

Rm601, Tokyo Electron Hall Miyagi  
3-3-7 Kokubuncho, Aoba, Sendai, Miyagi 980-0803 JPN

Admission Free (Capacity: 200)

**Keynote Speech** 17:40~18:50

**Disaster Risk Reduction: Between Natural Hazards and Human Vulnerability**  
Dr. Matthias GARSCHAGEN (United Nations University)

**Mega-Disaster and Environment**  
Prof. Yoshiaki KAWATA (Kansai University)

**Panel Discussion** 18:55~19:35  
Coordinator: Nagahisa HIRAYAMA (National Institute for Environmental Studies)

Organized by National Institute for Environmental Studies  
Co-Organized by International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University  
Support by Ministry of the Environment, Fukushima Prefecture, Japan Atomic Energy Agency  
Contact: takushima-p@nies.go.jp

<https://project.nies.go.jp/events/saigaisympo/>

第3回国連防災世界会議パブリック・フォーラム

災害環境研究シンポジウム —

# 東日本大震災の経験に基づく災害環境学の確立

2015年3月17日 ㊄  
17:30~19:40 (受付17:15~)

東京エレクトロンホール宮城 601会議室  
〒980-0803 宮城県仙台市青葉区国分町3-3-7 (宮城民会館)

参加費無料 (定員200名)

**基調講演** 17:40~18:50

**災害リスク低減：自然災害と脆弱性**  
マティアス・ガーシェン (国連大学教授)

**巨大災害と環境**  
河田 恵昭 (関西大学教授)

**パネルディスカッション** 18:55~19:35  
コーディネーター：平山 修久 (国立環境研究所)

主催：独立行政法人 国立環境研究所  
共催：東北大学災害科学国際研究所  
後援：環境省、福島県、若日本原子力研究開発機構  
問い合わせ先： takushima-p@nies.go.jp

<https://project.nies.go.jp/events/saigaisympo/>

図 3. 3-1 第 3 回国連防災世界会議パブリック・フォーラム「災害環境研究シンポジウム」



図 3. 3-2 環境研究と防災研究分野との連携