

## 〈研究発表〉

### 無水し尿分離トイレの導入による東日本大震災被災地の衛生対策

藤枝絢子<sup>1)</sup>、原田英典<sup>2)</sup>、小林広英<sup>3)</sup>、日下部武敏<sup>4)</sup>、清水芳久<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> 京都大学大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, E-mail: fujieda.ayako.8r@kyoto-u.ac.jp)

<sup>2)</sup> 京都大学大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, E-mail: harada.hidenori.8v@kyoto-u.ac.jp)

<sup>3)</sup> 京都大学大学院地球環境学堂 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, E-mail: )

<sup>4)</sup> 京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター (〒520-0811 滋賀県大津市由美浜 1-2, E-mail: shimizu@biwa.eqc.kyoto-u.ac.jp)

<sup>5)</sup> 京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター (〒520-0811 滋賀県大津市由美浜 1-2, E-mail: kusakabe@biwa.eqc.kyoto-u.ac.jp)

#### 概要

東日本大震災により、ライフラインの断絶やインフラへの被害が生じ、従来の水洗トイレが使用できなくなったことで、多くの人々が劣悪で非衛生的な環境での排泄を余儀なくされた。こうした状況に対応するため、本研究グループでは、プラスチック段ボールからなる備蓄・運搬が容易なポータブルの無水し尿分離トイレを開発し、現在までに東北各地に54基導入した。同トイレでは、し尿を簡易に分離し、ほぼ病原菌を含まない尿は緊急時には放流し、大便には石灰と粗殻炭/乾燥土壌の混合物を添加することで衛生化を実現する。

**キーワード:** 東日本大震災、し尿分離、ポータブルトイレ、無水トイレ、衛生対策

#### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。建築物への被害は、全壊・半壊を合わせて24万戸を超え、ライフラインの断絶やインフラへの被害により、停電世帯は800万戸、断水世帯は180戸に上り、ピーク時の避難者数は40万人を超えた<sup>2)</sup>。被災地では、2,000箇所以上の避難所が開設され、水、食糧、医薬品、毛布、衣類などの緊急支援物資が全国から届けられた。しかし、トイレについては、排泄が人間の生理現象の一つでもあるにも関わらず、十分な備えがなく、また優先的に対応されず、被災者にとってトイレが大きな問題となった。

現在、ほとんどのトイレが水洗化され、震災による停電や断水、下水道や処理施設への被害により従来の水洗トイレが使用できない状態となった。震災直後には野外での排泄、新聞紙やビニール袋に排泄し、後に埋め立てや焼却による処理するなどの対応を余儀なくされた被災者が少なくなかった。比較的早く水道が復旧した地域でも、下水道や処理施設への復旧には時間を要し、水洗トイレ使用の自粛が呼び掛けられた。避難所では、トイレの不足、衛生状態の悪化、仮設トイレの不便さ汲み取りの問題やなどが問題となった。また、衛生状態の悪化による感染症が原因となる下痢や嘔吐、トイレに使用回数を減らすために水分を控えることによる脱水や疾病などの健康被害も報告され

ている。

このような状況に対応するため、停電や上下水道が機能しない状況において、衛生的で快適なトイレ環境を維持することを目的に、ポータブルの無水し尿分離トイレを開発し、現在までに東北各地に54基導入した。同トイレは、備蓄・運搬が容易なプラスチック段ボールを素材とした軽量な組み立て式とし、し尿を簡易に分離できる形状である。分離したし尿は、大便には石灰と粗殻炭や乾燥土壌の混合物を添加することで衛生化を実現し、緊急時にはほぼ病原菌を含まない尿は緊急時に放流や土に浸透させ処理する。本稿では、東日本大震災における上下水道等の損壊状態、トイレの実態を踏まえトイレの問題や課題を整理し、被災地への無水し尿分離トイレの導入による衛生対策を提案する。

#### 2. 上下水道への被害とトイレ問題

##### 2.1 上水道への被害

###### (1) 上水道への被害

被災地では、津波や地震による送水施設や配水管の流出、停電により中高層階への給水ができないことにより、180万戸以上が断水した。被災後1ヶ月が経った4月17日の時点においても、被災地の6県(岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県)の11万世帯での断水が続き<sup>3)</sup>、断水が解消されるまでに数カ月を要した地域もあった。断水地域では、全国から給水支援が行われたが、飲料水の確保が最優先となり、生活用水の供給

までは多くの時間を要することとなった。避難所となった学校などの公共施設、震災の被害を免れた家屋などでは既設の水洗トイレが使えない状況となった。

## (2) 下水道への被害

最終処理を担う沿岸部の下水処理施設は津波による壊滅的な被害を受けた。国土交通省によると、下水道約 960km、下水処理場 120 箇所（稼働停止 48 箇所、一部停止 63 箇所、不明 9 箇所）が被災した<sup>4)</sup>。下水処理場や管路施設が津波で損傷したことにより、汚水が逆流しマンホールから溢れ出た地域も確認された。

管路施設では下水の速やかな排除を最優先しマンホールからの溢水は近傍水路へ流し、その後、管内の土砂排除、仮設ポンプ・仮設配管などによりバイパスが確保された。処理施設では仮設ポンプ等による揚水機能の確保、既存構造物を活用し沈殿や塩素消毒による簡易処理後に河川に放流するなど応急処置が施されるなど段階的処理レベル向上が図られ処理量は徐々に回復している。

しかし、隆起マンホールや損傷下水管を含めた下水処理システムの完全な復旧には 2~3 年かかるといわれており、上水が回復しても下水の復旧が遅れば普段のような水の使い方は難しくなる。市町村では、水洗トイレ使用の自粛、風呂や洗濯の回数を減らすなど節水などを呼び掛けてはいるが、生活が平常化することによって、下水などの能力不足が深刻になる可能性が懸念されている。

	岩手県	宮城県	福島県	茨城県
全処理場数	45	41	64	45
被災処理場数	10	38	17	24
被災した 下水管延長	24km	423km	191km	208km

Table 1. 主な被災地における下水施設への被害<sup>4)</sup>

## 2.2 被災地のトイレ問題

### (1) 一般住宅のトイレ問題

震災発生直後の断水によって、震災の被害を免れた住宅でも従来の水洗トイレが使用できなくなった。仮設トイレは一般家庭には供給されず、近隣の仮設トイレの使用が呼び掛けられ、また、近隣の河川や水路からの水洗用の水の確保が試みられた。しかし、これらの対処方法は不便で限度があり、上水の復旧まで、野外での排泄、新聞紙に排泄し、バケツやビニールプールに貯留、その後に埋め立てや焼却によって処理するなどによる対処など、被災者にとって排泄環境を確保することが困難となった。

### (2) 避難所のトイレ問題

被災地では、ピーク時の避難者数は 40 万人を超え、2,000 箇所余りの避難所が開設された。被災後 3 カ月後でも、公民館や学校などの避難所が 800 箇所で 4 万人近くが避難生活を送っていた。

避難所では、水・電気・排水できるかなどインフラの状況でトイレの状況にも差が現れた。特に上下水道が被害を受けた地域では、既設の水洗トイレが使用できず困難をきたした。また、多くの人が、数が足りない、水が流れないといった状態で無理に使用することで、例え上下水道が復旧しても、既設の水洗トイレが使用不可能となる事例も確認されている。

避難所のトイレの衛生対策も課題である。石巻を中心とした 2 市 1 町の避難所の調査によると、計 272 箇所の避難所中 107 箇所のトイレでは、汚物処理が十分にできず、衛生状態が悪化しているなど何らかの問題があったと報告されている<sup>5)</sup>。

### (3) 仮設トイレの問題

被災直後は、仮設トイレが有効であり避難所を中心として需要が高かったが、仮設トイレの不足が目立った。また、仮設トイレが供給されても、設置場所、不便さ、汲み取りなど仮設トイレの問題点が浮き彫りとなった。

通常仮設トイレは屋外に設置されるため、トイレ自体の機能が問題なくとも、トイレまで階段の上り下りが必要なことが多く高齢者や身障者にとっては、トイレの使用が困難となった。また、雨が降ると濡れるため不便であり、小さい子どもや女性は夜間のトイレの使用については不安を感じていた。また、個室が男女別になっていなかったり、男女の個室が隣り合っていたりすることも使用者にとってのストレスとなった。

避難所の仮設トイレのほとんどが和式であり、和式は足場の段差が大きく手すりもないため、高齢者や身障者、小さな子どもには使いづらいものであった。仮設トイレは和式の方が廉価なため広く普及しているが、高齢者や障害者に配慮した仮設トイレが必要である。

仮設トイレはし尿を貯留するため、臭いがこもりやすい。使用時だけでなく、敷地が広くない避難所では調理場と仮設トイレが近くにあり臭いが気になるなど臭気への対策が望まれた。また、多数の人が土足で使用するために汚れやすく、衛生環境の維持も安易ではない。

仮設トイレでは、バキュームカーがし尿を汲み取り、近隣の処理施設にて処理する。しかし、バキュームカーの不足でし尿が回収されず劣悪な衛生環境に陥ったり、遠方の処理場までの運搬が必要となったりと、し尿処理についても課題が確認された。

## 2.3 健康被害

衛生状態の悪化にともない感染症にかかる被災者も増加し、避難者に下痢や嘔吐の症状が見られる避難所も報告されている。トイレの不便さから水分や食事、排泄を制限する避難者も多く、脱水、尿路感染症(膀胱炎等)、循環不全(肺塞栓等)の危険性が懸念されている。また、脱水症状から、体力が低下することでインフルエンザなどにも感染しやすくなるため、被災者の健康を維持するためにも衛生状態の改善が不可欠である。

## 3. 無水し尿分離トイレの開発と導入

人は、一日に100~250グラムの便、1~1.5リットルの尿を排泄する。し尿のうち、特に処理が求められるのは病原菌を含む便であり、この隔離・処理が必要である。豊富な栄養塩を含む病原菌はほぼ含まない尿は非常時には放流可能である。

水洗トイレでは、一回の洗浄に10L~15Lの水を使用し、一日に70L近くの水をトイレに使用する。被災地では、上下水道の損壊による断水、下水処理能力の制限、また、一般的な仮設トイレの不便さ、衛生の悪化、貯留されたし尿の回収・処理などの諸問題に対応するため、このような状況を踏まえ、水を使わず、し尿を個別に処理することにより下水処理の負担を軽減し、トイレの衛生環境の向上を実現する安価で容易に設置できるポータブルの無水し尿トイレの開発と導入を行った。

### 3.1 無水し尿分離処理方式

無水し尿分離処理方式では、排泄時にし尿を簡易に分離できる形体のトイレを用い、し尿を個別に回収し処理する。

#### (1) 便の処理

便は病原体を含むため不適切な処理によって衛生状態が悪化することが第一に懸念される。便の病原体は、高温(40度以上)、アルカリ化、アンモニアの添加、乾燥、紫外線、他の微生物の存在、好気環境などの条件によって死滅させることができる<sup>6)</sup>。

本無水し尿分離トイレでは、アルカリ化、乾燥によって衛生化を目指した。便にはアルカリ剤として比較的入手しやすい灰もしくは消石灰、臭いを軽減するためのもみ殻炭(乾燥土壌)とを1対3の割合で混ぜたものを使用する。一回の必要量は200ml~300mlとなる。これによって、便のアルカリ化、乾燥化が促進される。その後、貯留用容器(大型ポリバケツ等)で6~12カ月の貯留することで、無害化し、最終的には農地や土への還元が可能となる。

#### (2) 尿の処理

病原菌を含まない尿は、予めアルカリ剤を入れた容器に回収し、リンと窒素を沈殿として集める。分離し沈殿処理した尿は、本来は放流すべきものではないが、トイレの利用がままならない被災地においては、人の健康の確保のための対策として、一時的に公共水域に流す、土壌浸透させる等の暫定的な処理が可能である。尿は元々病原菌が入っておらず、大部分のリンと窒素の一部が除去されることから、水質汚濁への影響を抑制することが可能である。

### 3.2 無水し尿分離トイレの導入

#### (1) ポータブル無水し尿分離トイレの設計

被災地でのトイレ問題として、従来の仮設トイレを設置できない一般家屋、避難所などでのトイレの不足、仮設トイレの設置場所、和式トイレによる不便さなどが挙げられた。これらを考慮し既設の洋式・和式トイレの空間を活用すると同時に単体でもトイレと使用できる形状とし、運搬や保管が簡易となる組み立て式のポータブル型のトイレを設計した。素材は軽量で耐水性のあるプラスチック段ボールを使用した。また、デザイン性、強度、使用感を考慮しより快適なポータブルトイレを目指した。



Figure 1. ポータブルし尿分離トイレの断面図と設置例

本トイレでは、し尿の回収において、できるだけ簡易にまた被災地で調達できる物を利用できるように、前部でタンク等の容器にて尿を回収し、後部では、レジ袋やバケツ等で便を回収する形状とした。

#### (2) 被災地への導入

2011年6月~7月にかけて被災地での導入を開始した。被災地では、設置方法や使用方法と分離した大便と尿の衛生的処理方法を説明し、Table1.の被災地域にてポータブル無水し尿トイレを54基導入した。

導入時は、被災後3~4カ月後を経過しており、緊急トイレのニーズは終息しつつあった。すでに導入した地域以外でも壊滅的な被害を受けた地域では未だ上下水道が機能しておらず、ニーズに応じて導入を継続する予定である。

また、被災者のほとんどが被災直後にトイレの問題

を経験しており、今後の災害への備えとしてのポータブルのし尿分離トイレへの期待の声が多く聞かれた。特に移動が困難な高齢者や身障者が使用しやすいトイレが必要だとの意見が多く、今後、使用者を対象にアンケートやヒアリング調査を実施し、東日本大震災の被災地への導入だけでなく、将来の災害に備えとなるよう改良を加えていく予定である。

配布先	個数
気仙沼市総務部危機管理課	2
気仙沼市元吉総合支所	18
気仙沼市本吉地区個人	4
石巻市災害ボランティアセンター	4
気仙沼市個人	11
東北大学環境科学研究科エコラボ	5
介護老人保健施設（2箇所）	10

Table 2. UDトイレの配布先

#### 4. まとめ

東日本大震災によって、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部は壊滅的な被害を受けた。上下水道への被害も例外ではなく、当たり前とされていた快適な水洗トイレが使用できなくなり、多くの被災者は劣悪な環境での排泄を余儀なくされた。生存や生活に必要とされる避難所、水や食糧などの物資と比べ、トイレへの備えは十分ではなく、数々の問題が浮き彫りとなった。

排泄は人間の生理現象であり、被災後直後より使用可能なトイレが必要である。緊急時のトイレは、上下水道が機能しないといった状況に対処するためだけのものではなく、高齢者や身障者を含めた万人が利用可能で、健康被害や精神的負担を軽減するために衛生的で快適なものでなくてはならない。

無水し尿分離トイレは、インフラに頼らない衛生的なし尿処理の実現が可能であり、既設の水洗トイレの代替として被災地において有効である。本研究ではプラスチック段ボール製の組み立て式のポータブルの無水し尿分離トイレを提案したが、適切なし尿処理の機能に加え、備蓄性、ユニバーサルデザイン、快適さなどを考慮した設計が必要であり、今後、ポータブルの無水し尿分離トイレの改善、将来の備えた備蓄をすすめるとともに、避難所となる学校等の公共施設を中心に、既設トイレの緊急時の無水し尿分離化の可能性を検討したい。

#### 謝辞

本研究は、社会技術研究開発支援センター東日本大震災対応・緊急研究開発成果実装支援プログラム「無水し尿分離トイレの導入による被災地の衛生対策と災害に強い都市基盤の整備」（代表：清水芳久）の一部と

して実施しました

#### 参考文献

- 1) 消防庁災害対策本部:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第134報),消防庁災害対策本部,pp.4(2011)
- 2) 内閣府:被災者生活者・避難所の推移(東日本大震災,阪神・淡路大震災及び中越地震の比較),内閣府,(2011)
- 3) 厚生労働省:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害状況及び対応について,厚生労働省,(2011)
- 4) 国土交通省下水道部:東日本大震災における下水道管,下水処理施設の被害及び復旧状況について,国土交通省下水道部,(2011)
- 5) 共同通信:避難所トイレ4割に問題 被災者の感染症増加,共同通信,(2011)
- 6) Uno Winblad and Mayling Simpson·Hebert:Ecological Sanitation revised and enlarged edition,Stockholm Environmental Institute,pp.12,(2004)