

### 大規模災害時において仮設トイレで発生するし尿の処理計画

首都大学東京大学院 正会員 ○荒井康裕, フェロー 小泉明, 正会員 稲員とよの, 杉野利光, 梅沢元太 (現, 八千代エンジニアリング(株)), 国立環境研究所 蛭江美孝

#### 1. はじめに

大規模な地震が発生した際には、沿岸部に位置する下水処理施設が津波・液状化等の被害を受けて機能しなくなる事態と、避難所等の仮設トイレにおける相当量のし尿汲み取り需要が生じる事態の2つが同時に発生する可能性がある。実際に2011年の東日本大震災では、沿岸部の下水処理施設が津波による長期的な機能不全に陥り、災害時における都市部のトイレ問題がクローズアップされた。南海トラフ地震の被害想定・避難者数等の規模を見ると、仮設トイレからの大量のし尿汲み取りが必要になる点が懸念される。こうした災害時のし尿汲み取り需要が生じた場合、平常時に別途バキューム車で浄化槽汚泥等を受け入れているサブシステム(し尿処理システム)や、県外の処理施設によるバックアップ体制が重要となる。そこで本稿では、南海トラフ地震の想定被害が大きいA県、S県、K県を対象とし、災害時における仮設トイレでのし尿収集必要量を試算した上で、現有し尿処理施設の余裕量から仮設トイレ分の受入れ可能量を推定し、対象3県の「代替可能性」(災害時におけるし尿の受入れにどれくらい貢献できるのか)を比較考察する。さらに、県外への輸送処理が必要になる事態を想定し、広域輸送体制の「中継拠点」となる箇所の選定方法を提案する。

#### 2. 仮設トイレでのし尿汲み取り必要量の算定と代替可能性の三県比較

本稿では南海トラフ地震を対象とし、環境省が公表している「避難所ごみの発生量、し尿収集必要量の推計方法」で示された算定式<sup>1)</sup>を用いて、災害時におけるし尿収集必要量を推計した。なお、計算には環境省が公表している平成25年度の一般廃棄物処理実態調査結果の数値を使用した。また、避難者数及び上水道断水率は平成26年度A県防災会議にて公表された数値、S県第4次地震被害想定、K県庁の南海トラフ地震による被害想定にて公表されている数値を使用した。次に、現在整備されているし尿処理施設の処理能力を把握し、災害時における

し尿処理施設の代替可能性を検討した。

A県、S県及びK県の平常時における処理実績値、災害時におけるし尿収集必要量、並びに施設の余裕量を県毎に集計した。図-1は、余裕量と処理実績値を合算した値(各県における左側の棒グラフ)が、し尿収集必要量のどれくらいに相当するのかを比較した結果である。対象の3県においては、想定地震発生時には平常時のし尿処理量(実績値)の1.1~2.2倍程度のし尿収集必要量が発生することが明らかになった。とくに、A県及びS県の場合、災害時の収集必要量がし尿処理システムの許容量を大きく上回っている。A県における施設の余裕量は、し尿収集必要量の16.7%に相当する等、し尿処理施設の代替可能性を計算した結果、1/6から1/4程度のバックアップ能力は現行のし尿処理施設に期待できることが示唆された。都市部ではトイレの水洗化が進展し、バキューム車による汲み取りが必要な世帯数は多くないと考えられる。過密都市を対象に同様の試算を行うと、代替可能性は数%と僅かであったことから、平常時の効率性の高さに反し、都市部での震災時の脆弱性が示唆される。以上の試算結果から、被害規模が大きい場合にはより広域的な県外との連携が必要であることが明らかとなった。

#### 3. し尿の広域輸送体制における中継拠点の検討

本研究では数理計画問題の一つである「k-メディアン問題」を応用し、中継拠点の最適配置に関する検討を行

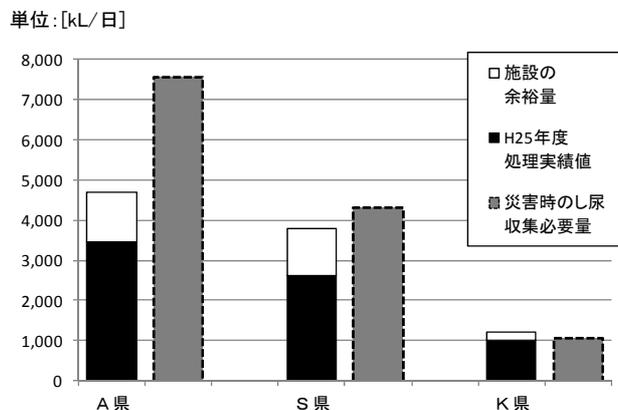


図-1 し尿処理システムの代替可能性の比較

【キーワード】 し尿処理 仮設トイレ 南海トラフ地震 中継拠点 k-メディアン問題

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 TEL.& FAX.042-677-2947

$$\begin{aligned}
 &\text{minimize } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} && \text{---(1)} \\
 &\text{subject to } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I && \text{---(2)} \\
 &\sum_{j \in J} y_j = k && \text{---(3)} \\
 &x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I; j \in J && \text{---(4)} \\
 &x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; j \in J && \text{---(5)} \\
 &y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J && \text{---(6)}
 \end{aligned}$$

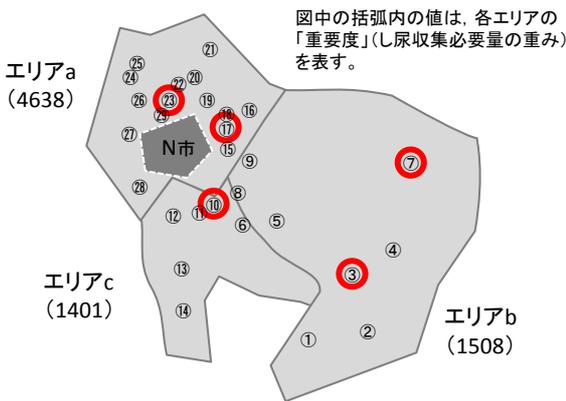


図-2 A県における中継拠点の候補地  
(図中の赤丸はcase1におけるk=5の最適解)

表-1 最適解の比較

設置数:k	最適な中継拠点	
	case 1	case 2
1	15	19
2	8,23	8,23
3	3,10,23	3,15,23
4	3,10,17,23	3,10,17,23
5	3,7,10,17,23	3,10,17,22,27
6	3,7,10,13,17,23	3,10,17,22,24,27

った。k-メディアン問題は、工場、病院、郵便ポスト等の種々の施設の立地計画において、どのような配置にすれば顧客の利便性を高めることができるのかといった最適化問題として知られており、この問題を定式化すると式(1)から式(6)までのようになる<sup>2)</sup>。ここで、係数  $c_{ij}$  は施設間の距離、変数  $x_{ij}$  は施設  $i$  のし尿を中継拠点  $j$  に運搬するとき「1」、それ以外するとき「0」とする0-1変数、並びに変数  $y_j$  は施設  $j$  を中継拠点にするとき「1」、それ以外するとき「0」とする0-1変数である。施設総数を  $n$  とし、し尿処理施設の位置は需要が発生する点であり、また中継拠点として選択可能な位置であると仮定する。まず各施設間を結び、施設間の自動車道路最短距離を Google MAP の経路検索機能によって求めた。また、市町村の地

震発生時におけるし尿収集必要量をエリア毎に合計し、その数値を重要度として各エリア内の中継拠点候補地に一律適用した。この施設間の距離及び重要度を利用して、中継拠点を  $k$  箇所選定する場合において、需要点から最も近い中継拠点への重み付きの輸送距離（施設間の距離  $c_{ij}$  に重要度を乗じた値）の総和が最小になるような位置を求めた。本分析では Python を用いてプログラムを記述し、計算の実行には Gurobi Optimizer V.6.0 を用いた。

以下に、対象3県の中で収集必要量の最も多いA県に着目し、図-2に示す候補から最適な拠点を選択した結果を表-1に示す。A県の場合、N市における災害時のし尿収集必要量(2351[kL/日])が他市(1~398[kL/日])と比較して非常に大きく、N市のし尿収集必要量の大きさを考慮した中継拠点の整備が輸送効率性を向上させる上での鍵を握る。施設間の距離のみを考慮した場合(case1)と、距離に加えて重要度を考慮した場合(case2)を比較すると、両者に共通して選択される施設(例えば  $k=5$  の時、3、10及び17)がある一方、前者では選択された施設(7及び23)が後者では異なる施設(22及び27)が選択された。重要度を考慮して選定を行った結果、エリアaに近い拠点が選択されるという特徴が見られ、収集必要量に応じた中継拠点の計画代替案が得られた。

#### 4. おわりに

本稿では、南海トラフ地震発生時におけるし尿収集必要量を試算し、これを受け入れる対象施設の代替可能性についてA県、S県及びK県を対象に比較考察した。平常時では下水処理の「サブシステム」に位置づけられるし尿処理施設は、災害時のバックアップ施設として貢献することが示唆された。また、広域輸送における中継拠点の最適化分析の結果、し尿収集必要量の重み付けの有無を比較する等の数理モデルによるアプローチは、施設配置の具体的な計画において有用であると判断される。今後の課題として、中継拠点となる施設をいくつ整備するのが最適なのかを求める問題や、県外施設の条件を考慮に入れた計算にも取り組んで行く必要があると考える。

#### 【参考文献】

- 1) 環境省：「技 1-11-1-2 避難所ごみの発生量，し尿収集必要量の推計方法」，2015
- 2) 久保幹雄他：「あたらしい数理最適化 Python 言語と Gurobi で解く」，pp. 48-49，近代科学社，2012