

都市中小河川流域を対象とした地震降雨複合災害時における病原感染リスクについて

首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 ○中川 直子
 首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 河村 明
 首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 天口 英雄
 首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 湯浅 信平

1. はじめに

過去の経験から、巨大地震の発生後には感染症が拡大する傾向にあることが知られている。2011年3月11日に東北地方太平洋沖で発生した東日本大震災においても、被災地ではインフルエンザ、ノロウイルス感染症、破傷風、レジオネラ症などの散発的な流行が確認された。その原因の一つとして、被災地での衛生状態の悪化が挙げられる。東日本大震災では下水道管渠の破損や破断が生じ、下水が溢水するなどの被害も報告されており、被災地広域において衛生環境の悪化がみられた。また近年、首都直下型地震など巨大地震発生の可能性が上昇している。仮に、大震災後に降雨が発生し、地震降雨複合災害となった場合、通常時には処理可能な雨量強度の降雨であっても、下水道管渠が破断した状態では雨水を処理しきれずに内水氾濫が生じる可能性が高くなると考えられる上に、東京都のように合流式下水道が残っている地域では、雨水のみならず処理前の生下水が雨水と共に氾濫し、病原感染リスクは著しく増大すると予想される。このように、巨大地震と降雨による複合災害を受けると、通常時には衛生状態も良く機能性の高い都市部においても、病原感染リスクが高まると考えられ、著者らは既にこのような場合における病原感染リスクの基礎的研究を行っている¹⁾。

そこで本研究では、東京都内の代表的な中小河川である神田川の上流域を対象として、地震降雨複合災害時における下水道管渠の破断を考慮した精緻な氾濫浸水解析²⁾を行い、60分最大雨量が50mm、降雨継続時間3時間、中央集中型降雨(総雨量96mm)を対象降雨とした場合に得られた最大浸水深を示す流域マップから下水道管渠の破断の有無による病原感染リスクの増減を空間的分布として表現し、定量的な評価を試みた。なお、氾濫浸水解析には降雨の流出経路を物理的に忠実に表現できるTSR(Tokyo Storm Runoff)モデルを用いた。

2. 対象流域と下水道管渠被害箇所の設定

本研究で対象とする神田川は、三鷹市の井の頭池にその源を發し、途中善福寺川と妙正寺川を合流して隅田川に流入する東京都内の代表的な都市河川である。本研究では、井の頭池から善福寺川合流点までの神田川上流域(流域面積11.5km²、流路延長9km)を対象流域とした。また、神田川上流域における液状化分布を特定し²⁾、**図-1**において、濃色で示した領域に存在する下水道管渠を、地震による被害箇所として設定した。

3. 巨大地震と豪雨による複合災害時の病原微生物感染リスク評価

本研究では、前述のように、下水道管渠の破断を考慮した精緻な氾濫浸水解析を行うことにより求めた最大浸水深を示す流域マップをもとに病原感染リスクの算出を行った。

(1) 対象病原微生物の同定

本研究では腸管系の病原微生物に着目し、日本での感染症発生事例の非常に多いノロウイルスおよび、日本での感染事例は少ないが、感染力が強くハイチなどで地震後に感染拡大が確認されているコレラ菌の2つを評価対象病原微生物とした。

(2) 用量・反応解析

病原微生物の曝露量をリスクに変換するという、リスク評価の中心的なプロセスである用量・反応解析において、複数のモデルが提案されており、対象微生物に対して実験結果に最もよくフィットするリスク評価モデルが選ばれる³⁾。本研究においてリスク評価に使用した、ノロウイルスおよびコレラ菌の用量・反応モデルをグラフ化したものを**図-2**に示す。

(3) 曝露評価

氾濫水は雨水および下水の混合物であると考えられ、それを誤って摂取した場合、下水中に含まれる病原微生物により、病原感染リスクが生じる。浸水深と摂取量の関係は、浸水深が高くなれば摂取量も増えると考えられるが、不確定要素が多いため、本研究では最大摂取量が200mL、浸水深が1000mmの時に150mL摂取すると仮定した式(1)に従うとした。なお、既に別の関数での評価も行っている⁴⁾

$$y = 200 \tanh(x/1028) \tag{1}$$

ここで、 y : 摂取量(mL)、 x : 浸水深(mm)。

また、式(1)をグラフ化したものを**図-3**に示す。

次に氾濫水中の病原微生物濃度に関しては、文献値による下水中の病原微生物濃度^{5),6)}が、雨水により100倍に希釈された値

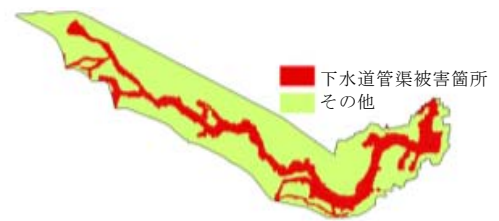


図-1 設定した下水道管渠被害箇所

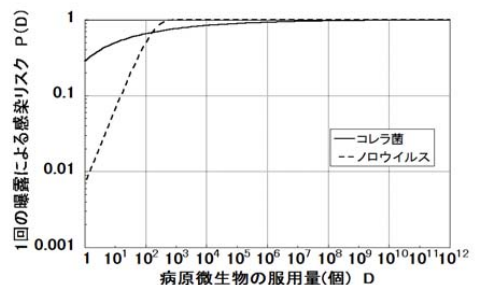


図-2 ノロウイルス・コレラ菌の用量反応モデル

と仮定した。表-1 に病原微生物の下水中濃度、希釈率および氾濫水中濃度を示す。なお、ノロウイルスの下水中濃度は季節による変動が大きいので、本研究では下水中濃度が高くなる 1 月の値を使用した。これらの仮定の下で、流域内の各地物要素において、最大浸水深に対する病原感染リスクを算出した。

4. 感染リスク算出結果および考察

地震による下水道管渠の被害の有無による病原感染リスクの増減を把握するために、ノロウイルスおよびコレラ菌の感染リスクをそれぞれ算出し、感染リスクの差の空間分布を作成した(図-4)。ノロウイルス・コレラ菌ともに、地震による下水道管渠の被害が存在する場合には、流域広域において概ね病原感染リスクが上昇することが分かった。また、コレラ菌においては、地震による下水道管渠の被害が存在することにより、病原感染リスクが逆に減少する地域もあることが分かった。さらに、図-4 の結果を詳細に分析するために、下水道管渠被害の有無によって、各感染リスクの流域面積変化を表したものを図-5 に示す。ノロウイルスの場合、感染リスクが 10^1 付近の流域面積は減少しているが、感染リスク 0.5 以上の流域面積は増加している。コレラ菌の場合は、感染リスクが 10^{-3} 付近の流域面積は減少しているが、感染リスクが 10^{-2} 付近の流域面積は増加している。このように、下水道管渠が被害を受けると、流域面積分布が約 1 オーダー感染リスクの高い方に移動していることがわかる。

5. むすび

本研究では、神田川上流域を対象として、通常時および地震降雨複合災害時における氾濫浸水解析を行うと共に、ノロウイルスおよびコレラ菌の定量的な感染リスク評価を行った。感染リスクの空間分布を示し、マップ化による感染リスクの視覚化を試みた。その結果、地震降雨複合災害時には、通常時に比べ内水氾濫を起こす地域が多くそれに伴い病原感染リスクも上昇するという地域がある一方で、病原感染リスクが低くなる地域もあることがわかった。

謝辞: 本研究を遂行するにあたって、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策に関する研究」(代表: 河村明) 及び科学研究費基盤研究(C)「尿分離による資源循環・低エミッション型排水処理システムの構築」(代表: 中川直子) の補助を受けました。

参考文献

- 1) 中川直子, 河村 明, 天口英雄: 都市における巨大地震と豪雨による複合災害時の感染リスクに関する基礎的考察, 水文・水資源学会 2012 年度研究発表会要旨集, pp. 166-167, 2012.
 - 2) 天口英雄・河村 明・中川直子: 震災時の雨水・下水道管路被害を想定した浸水リスク評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_1609-I_1614, 2013.
 - 3) Haas C.N., Rose J.B. and Gerba C.P., 1999, Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley&Sons, Inc., 1999.
 - 4) 湯浅信平, 中川直子, 河村 明, 天口英雄: 都市中小河川流域を対象とした地震降雨複合災害時における病原感染リスクに関する基礎的考察, 第 40 回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM 版 (V I I -23), 2013.
 - 5) 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会: 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書 参考資料編, p14, 2010.
 - 6) 金子光美: 水質衛生学, 技報堂出版, p. 230, 1996.
- キーワード: 複合災害, 都市, 大震災, 洪水, 感染リスク

表-1 病原微生物の濃度と希釈率

	下水中濃度 (個/L)	雨水による希釈(倍)	氾濫水中濃度 (個/L)
ノロウイルス	$10^{9.2}$	100	$10^{4.2}$
コレラ菌	10^2		1

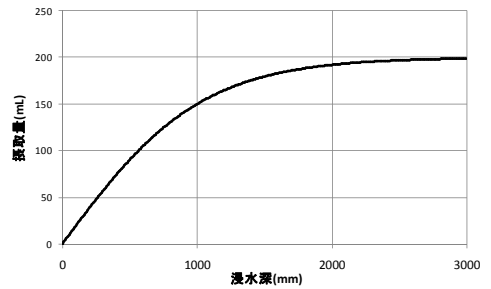


図-3 最大浸水量と摂取量の関係

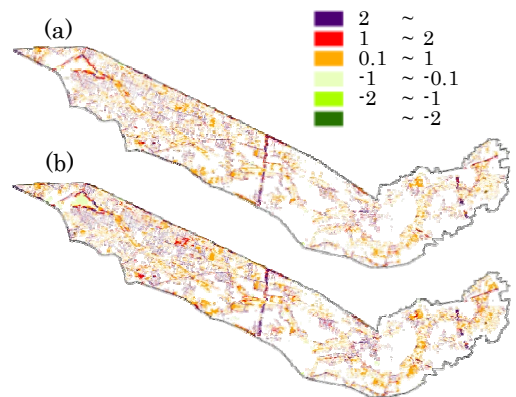


図-4 下水道管渠被害の有無による log(感染リスク)の差 (a)ノロウイルス (b)コレラ菌

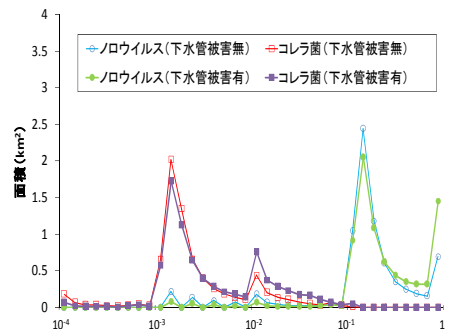


図-5 下水道管渠被害の有無による流域面積