

都市河川流域を対象とした地震豪雨複合災害時 における病原感染リスク評価手法の提案

PROPOSAL OF AN INFECTION RISK EVALUATION METHOD CAUSED
BY THE COMPOUND DISASTER OF A LARGE EARTHQUAKE AND
HEAVY RAIN IN AN URBAN RIVER CATCHMENT

中川直子¹・河村明²・天口英雄³・湯浅信平⁴

Naoko NAKAGAWA, Akira KAWAMURA, Hideo AMAGUCHI and Shimpei YUASA

¹正会員 博(理) 首都大学東京特任准教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²正会員 工博 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 博(工) 首都大学東京助教 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

⁴学生会員 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

In this study, the risk assessment technique of pathogens was applied to a compound disaster of a large earthquake with a flood and an evaluation method of the infection risk was proposed. The infection risks of the norovirus and cholera vibrio were calculated quantitatively using the Kanda River basin as the study area. The spatial distribution of the infection risk was created and the visualization of the infection risk was investigated. The results showed that the infection risk changes in a range of 1.2 to 10 times higher than usual in the case of a large earthquake with a flood and subsequent inland inundation.

Key Words : compound disaster, earthquake, flood, heavy rain, metropolitan area, microbial risk.

1. 研究背景と目的

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。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¹⁾。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、震災3日後の3月14日には国立感染症研究所が感染症のリスクアセスメント表を発表して注意を喚起したが²⁾、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¹⁾。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^{3) 4)}、被災地広域において衛生環境の悪化が問題視された。上下水道のような公衆衛生システムの損壊が、感染症拡大の一因となることは想像に難くない。

また仮に、震災後に豪雨が発生し、地震豪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、雨水・下水道管路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を採用して

いる地域では、これまで氾濫によって感染した事例は顕在化してはいないものの、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。さらに、都市部においては人口密度も高いため、ヒトからヒトへの感染リスクは郊外よりも高くなると考えられ、ひとたび感染症の拡大が始まると大規模流行につながる恐れもある。このように、巨大地震と豪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る。

洪水氾濫と水系感染症の関係を明らかにしようとする研究は今までも行われている^{5) 6) 7)}が、それらはアジアの発展途上国を対象に行われたものであり、東京都のように複雑な雨水・下水道管路網が構築されている都市域での複合災害時の感染リスク評価は見受けられない。著者らは都市流域における洪水流出および浸水過程の解析モデルとして、下水道管路システムはもちろんのこと道路および河道に加え、街区内に存在する建物、駐車場、緑地などのあらゆる地物から構成される都市流域の構造を忠実に表現可能な地物データGISを用いた洪水流出モデルとしてTSR(Tokyo Storm Runoff)モデル^{8) 9) 10)}を提案している。TSRモデルでは、直接流出、地表面・氾濫流、

河道流および雨水・下水道管路の圧力流に対し、これら全ての流れを同時に解析することが可能となっている。TSRモデルについては、東京都の代表的な都市河川である神田川の上流域や、神田川流域の一部である江古田川流域において洪水氾濫解析を行い、浸水被害評価に関しての検証を行っている^{8), 9), 10), 11)}。また、震災時の雨水・下水道管路被害を想定した浸水被害に関しては、神田川上流域において東海豪雨を想定した検証を行っている¹²⁾。

そこで本研究では、地震豪雨複合災害時における病原感染リスク評価手法を確立することを目的とし、まず、このTSRモデルを用いて、神田川の上流域を対象とし、東京都の雨水・下水道管路の設計降雨である60分あたり最大50 mmの降雨に対し、雨水・下水道管路の破断を考慮した、地震豪雨複合災害時における流出氾濫解析を行った。そして、浸水深と摂取水量の関係を飽和曲線で仮定し、雨水・下水道管路の破断の有無によるノロウイルスおよびコレラ菌の病原感染リスクの増減を空間的分布として表現し、感染リスクの可視化を試みた。さらに、感染リスクの面積分布を用いて定量的な評価を試み、その考察を行った。

2. 対象流域の概要

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11.5 km²、流路延長9 km）を対象流域として設定した。図-1は神田川上流域の概要図である。流域内の人口は160万人を超えており、合流式下水道による下水道整備は普及率100%に達している¹³⁾。

3. TSRモデルを用いた地震豪雨複合災害時の

流出氾濫解析

(1) 雨水・下水道管路破断箇所の設定¹²⁾

巨大地震発生時には、東日本大震災と同様に雨水・下水道管路の破断が発生すると予想される。神田川上流域における地震発生時の管路破断箇所について個々に行った調査事例は存在しないため、本研究では神田川上流域における液状化分布を特定し、その領域内の雨水・下水道管路が破断するものと仮定した。

東京都防災会議による液状化危険度は250 mメッシュ単位でリスク評価が行われており、神田川上流域においては液状化危険度の高い箇所が数メッシュあるほか、液状化危険度自体は低いものの、特に重要な構造物に対してより詳細な調査が必要と判定されたメッシュが河川沿

いの低地部に多数存在する。そこで、液状化リスクがある範囲を把握するため、国土地理院発行の土地条件図^{14), 15)}により、地形分類が低地部の河川を対象にその周辺の盛土地に相当する部分を下水道管の破断箇所と設定した。図-2は、土地利用要素を用いて抽出した盛土地を赤色、それ以外を緑色として示した流域マップである。本研究では、赤色で示した領域に存在する雨水・下水道管路はないものと仮定してシミュレーションを行った。

なお、本研究では、地震被害（雨水・下水道管路の破断）がある場合とない場合の双方での流出解析を実施し、その比較検討を行った。

(2) 対象降雨

本研究では、東京都の雨水・下水道管路の設計降雨である60分あたり最大時間降雨50 mmの降雨を対象とした。この降雨は、降雨継続時間3時間の中央集中型降雨、総雨量は96 mmである。なお、本研究で対象とした仮想降雨はアメダス確率降雨量計算プログラム¹⁶⁾を基に作成した。

(3) 流出解析結果

前述した実際の浸水域を良好に再現可能な信頼性の高いTSRモデルを用いて、雨水・下水道管路の破断有、破断無の双方について流出氾濫解析を行った。まず、神田川上流域最下流端での河川流量の時間変化を図-3に示す。破断無と破断有の河川流量を比較すると、ピーク流量に20 m³/s以上の差が生じている。破断有の場合、破断無の河川流量との差分流量は流域上に氾濫しており、雨水・下水道管路の破断により、円滑な雨水および下水の排除機能が損なわれたことを示している。次に、流出氾濫解析により求めた流域上の各地物要素ごとの最大浸水深を図-4に示す。破断有のマップでは破断無のマップに比べ広範囲で浸水が発生し、また、浸水深も上昇する傾向にあることが確認できる。これにより、雨水・下水道管路

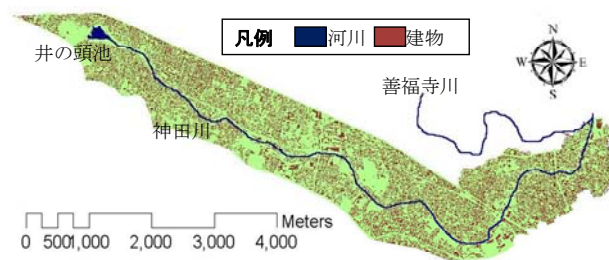


図-1 神田川上流域の概要

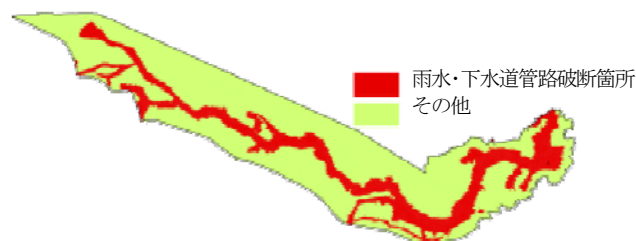


図-2 設定した雨水・下水道管路の破断箇所

に破断を受けると内水氾濫を生じる範囲が拡大し、多くの地域で浸水深も高くなる傾向があるという結果が得られた。

4. 病原微生物リスク評価

本研究では、前述した最大浸水深をもとに病原感染リスクの算出を行った。リスク評価とは、ある危険因子（化学物質や病原微生物）に曝露されたヒトや動物が受ける健康被害の大きさを定量的あるいは定性的に評価することと定義される。リスク評価の手法は、1970年代から1980年代にかけて、全米科学アカデミーが中心となって開発され、1983年に米国研究評議会が報告書にまとめている¹⁷⁾。本研究ではこのリスク評価手法を、雨水・下水道管路の破断が有る場合と無い場合の双方の内水氾濫発生時に適用し、以下の手順に従って病原感染リスクの評価を試みた。

(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つを対象病原微生物として設定した。

(2) 用量・反応解析¹⁾

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¹⁸⁾。本研究においてノロウイルスおよびコレラ菌のリスク評価に使用した用量・反応モデルを式(1)および式(2)に示し、それをもとに用量と反応の関係をグラフ化したものを図-5に示す。

・ベータモデル（コレラ菌） $P(D) = 1 - [1 + (D/\beta)]^{-\alpha}$ (1)

・指数モデル（ノロウイルス） $P(D) = 1 - \exp(-\gamma D)$ (2)

ここで、 $P(D)$ ：1回の曝露による感染リスク、 D ：曝露量（個）、 $\alpha (=0.164)^{19)$ 、 $\beta (=0.149)^{19)$ 、 $\gamma (=0.0069)^{20)$ ：モデルパラメータ。

(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、それを誤ってヒトが摂取した場合、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。前述の洪水流出解析により、対象降雨による内水氾濫発生時には図-4に示す最大浸水深が得られている。水深と摂取水量の関係を示す研究やデータは確認できず、不確定要素も多いと考えられるが、水深が高くなれば摂取水量も増えると考えられるため、本研究では浸水深と氾濫水の摂取量の関係が以下の式(3)に示す飽和曲線に従うと仮定した。

$$y = A \operatorname{Tanh}(x/b) \quad (3)$$

ここで、 y ：摂取量(mL)、 A ：パラメータ、 x ：浸水深(mm)、 b ：パラメータである。パラメータ A は摂取量の飽和値であるが、溺水時の摂取水量を把握したデータも確認できなかったため、一回あたりの飲量を考慮して200 mLと仮定した。また、パラメータ b は飽和曲線の傾きに関係するが、ここでは次の3通りの曲線を試み、感度解析を行った。

- ① (0,0),(500,150)を通る飽和曲線
($b=500/\operatorname{Arc} \tanh(150/200) \approx 514$)
- ② (0,0),(1000,150)を通る飽和曲線
($b=1000/\operatorname{Arc} \tanh(150/200) \approx 1028$)
- ③ (0,0),(2000,150)を通る飽和曲線
($b=2000/\operatorname{Arc} \tanh(150/200) \approx 2056$)

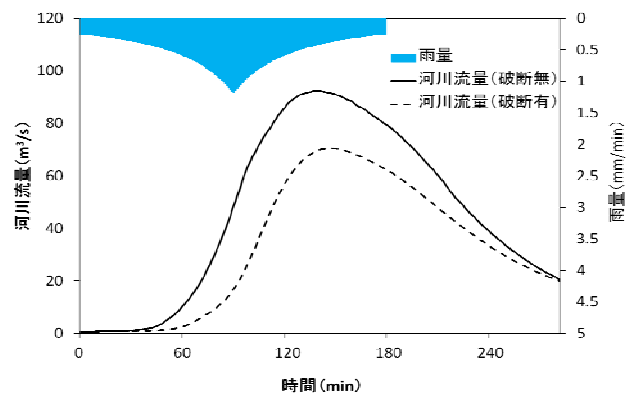


図-3 河川流量の時間変化

破断無

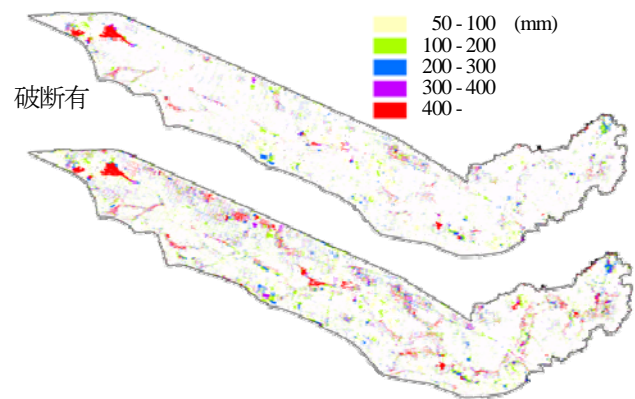


図-4 最大浸水深

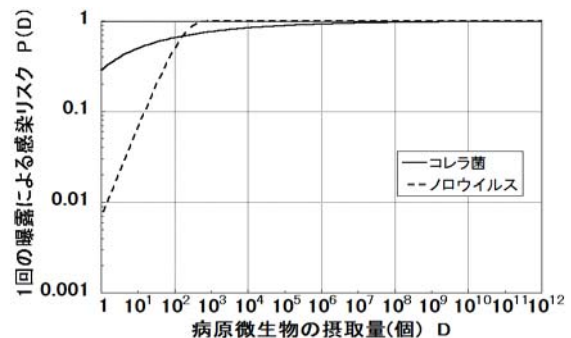


図-5 ノロウイルスおよびコレラ菌の摂取量と反応の関係

これらの飽和曲線をグラフ化したものを図-6に示す。

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^{21), 22)}が、雨水により希釈された値であると考えた。神田川上流域での平均汚水量は0.007 mm/min¹³⁾であり、3時間の汚水量は1.26 mm程度であると考えられる。また、設定した降雨の3時間総雨量は96 mmであるため、下水および雨水が完全に混ざり合ったと仮定すると雨水による希釈は約76倍となる。地上の氾濫水では、下水管の中の下水がすべて出てくることはないため、下水よりも雨水の割合が高いと考えられるため、本研究では雨水による希釈を100倍と仮定した。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ため、本研究では日本での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。

5. 感染リスクの算出結果及び考察

図-6に示した浸水深と摂取量の関係曲線①、②および③を用いて、前述した飽和曲線①、②、および③を用いて、「4. 病原微生物リスク評価」で述べた感染リスク算出方法に従い、図-4に示した最大浸水深に対する病原感染リスクを算出し、流域上に空間分布を示した。ここでは、①および③の曲線に対する、雨水・下水道管路の破断が有る場合と無い場合のノロウイルスおよびコレラ菌の感染リスクを図-7に示す。まず、ノロウイルスから見ると、a)およびb)では0.5~1が、c)およびd)では0.1~0.5が大部分を占め、感染リスクが0.1を超える非常に高い値となる地域が多いことが分かる。また、破断無に比べ、破断有の場合には流域内の広域において確実に感染リスクが上昇していることが確認できる。しかし、ノロウイルスの場合、雨水・下水道管路が破断していない場合でも感染リスクが0.1を超える地域が多く、感染症への十分な注意が必要であることが分かる。次にコレラ菌を見ると、流域全体の感染リスクが0.001から0.1の範囲ではほぼ推移しているが、e)およびf)では感染リスクが0.1を超える地域も散見される。また、ノロウイルスと同様にコレラ菌でも破断無に比べ、破断有の場合の感染リスクが上昇していることが確認できる。コレラ菌の感染リスクはノロウイルスに比べ低い値となっているが、米国環境保護局の提唱する微生物許容感染リスクである 10^4 /年を大きく上回っており、安全レベルとは言い難い。

図-7において、ノロウイルスとコレラ菌の感染リスクの比較を行うと、圧倒的にノロウイルスの感染リスクが高いが、この差は病原微生物の下水中濃度に大きく起因している。表-1に示したように、ノロウイルスの下水中濃度は $10^{6.2}$ 個/Lであるが、コレラ菌の下水中濃度は 10^2

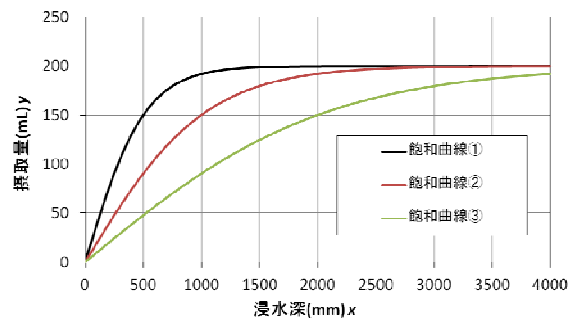


図-6 浸水深と摂取量の関係

表-1 病原微生物の濃度と希釈率

	下水中濃度 ^{21),22)} (個/L)	雨水による 希釈(倍)	氾濫水中濃度 (個/L)
ノロウイルス	$10^{6.2}$	100	$10^{4.2}$
コレラ菌	10^2		1

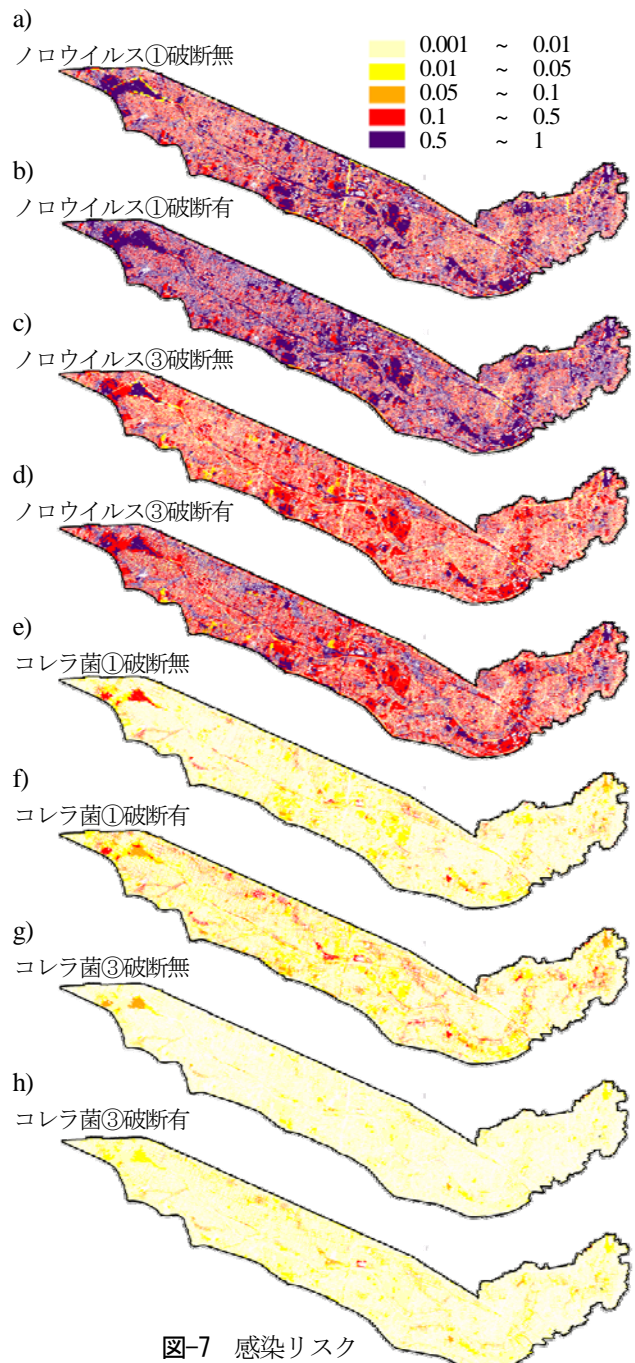


図-7 感染リスク

個/Lであり、大きく異なっている。そのためノロウイルスの感染リスクが高い値となっている。しかし、ノロウイルス感染症の主症状が嘔吐や下痢などの急性胃腸炎であり、数日の経過で自然に回復するのに対し、コレラは重症化しやすく、大量の下痢による急速な脱水症状や体温の低下、血行障害により、死に至ることもある危険な感染症である。特に、地震発生時など衛生状態を保つための水を十分に確保できない環境や、避難所などでの集団生活時にコレラを発症した場合、二次感染、さらには集団感染へと繋がる恐れもあることを考慮すると、コレラの危険度は決して低くはないと考えられる。

次に、図-7の結果を分析するために、感染リスクの占める面積を図-8に示す。ノロウイルスの場合、ほとんどの流域で感染リスクが0.1から1に集中しており、コレラ菌の場合、感染リスクが 10^{-3} から 10^1 までの間で広く分布している。ノロウイルス、コレラ菌ともに③、②、①と浸水深に対する氾濫水の摂取量が増加するにつれて高リスクの流域面積が増加して、低リスクの流域面積が減少している。また、雨水・下水道管路の破断有と破断無を比較すると、破断有の場合に高リスクの流域面積が増加して、低リスクの流域面積が減少している。

病原感染リスクの絶対値はやや不確定要素が多いため、雨水・下水道管路の破断の有無により流域上の各地物要素においてどれだけ感染リスクが増減するかを把握するために、図-7の①および③の対数をとった感染リスクの差を図-9に示す。図-9を見ると、ノロウイルス・コレラ菌ともに広範囲で0.1~1が目立ち、次いで1以上の地域も点在していることから、地震による雨水・下水道管路の破断が存在する場合には、流域内の広域において1.2~10倍程度病原感染リスクが上昇することが分かる。また、多少ではあるが感染リスクの差がマイナスになる地域も確認できるため、雨水・下水道管路の破断が存在することにより、病原感染リスクが減少する地域もあることが分かる。この結果に関しては、本研究では、最大浸水深から病原感染リスクを求めているため、感染リスクが減少した地域は、雨水・下水道管路の被害を受けた場合に近隣に氾濫水が流れ込むなどしてかえって浸水深が低くなった地域であると考えられる。次に、流域の中央付近で上下に紫色(2~)や赤色(1~2)が密集する地域があるが、ここは環状八号線上である。雨水・下水道管路の被害が存在しないときにはほとんど浸水が見られない箇所であるが、雨水・下水道管路が破断すると氾濫水が溜まりやすいため、 \log (感染リスク) の差が大きくなったと考えられる。

図-9に示す \log (感染リスク) の差では、a)とb)、またc)とd)の違いは少なく、同種の病原微生物では、浸水深に対する摂取量が変わっても、感染リスクの差は同程度増減することが分かる。次に、ノロウイルス (a)およびb)) とコレラ菌 (c)およびd)) の比較を行うと、コレラ菌の感染リスクの差がノロウイルスの感染リスクの

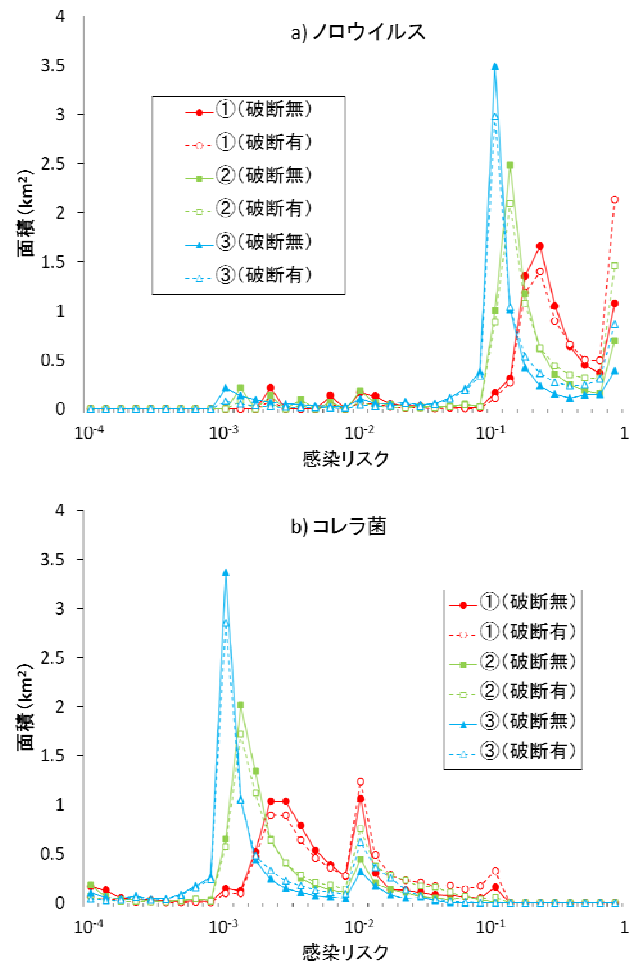


図-8 感染リスクと流域面積

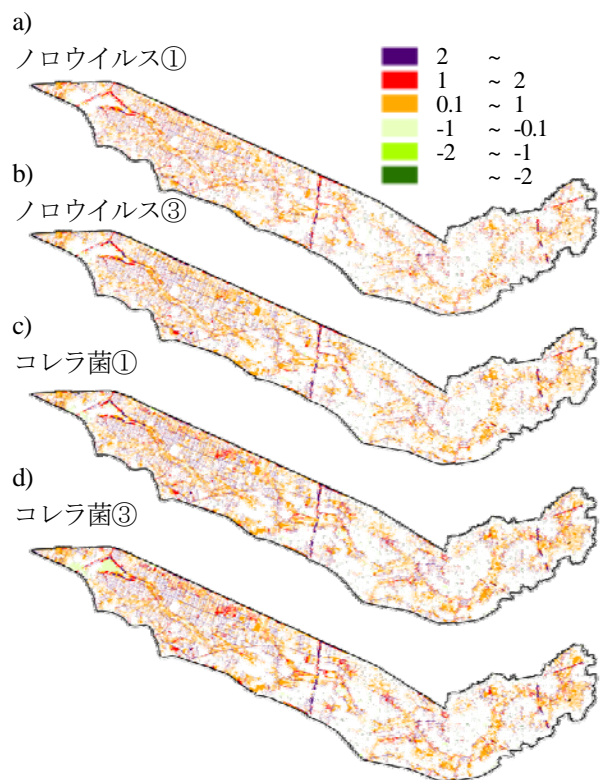


図-9 雨水・下水道管路破断の有無による \log (感染リスク) の差

差に比べやや大きく現れている。コレラ菌は下水中濃度がノロウイルスに比べて低いため、雨水・下水道管路の破断の有無による病原微生物の摂取量の変化が、感染リスクの増減に大きく影響したと考えられる。

6. むすび

本研究では、神田川上流域を対象として、通常時および雨水・下水道管路の破断時において、あらゆる地物から構成される都市流域の構造を忠実に表現可能な地物データGISを用いたTSR(Tokyo Storm Runoff)モデルによる流出氾濫解析^{8), 9), 10)}を行うとともに、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実施した。雨水・下水道管路の破断の有無による感染リスクおよび感染リスクの増減を空間分布として流域上に示すことで感染リスクの可視化を行った。その結果、ノロウイルスでは、雨水・下水道管路が破断していない場合でも感染リスクが0.1を超える高い値を示す地域が多いが、地震により雨水・下水道管路が破断すると、さらに感染リスクが上昇する傾向があることが分かった。コレラ菌は、ノロウイルスほどの高い感染リスクではないものの、雨水・下水道管路が破断した場合、感染リスクが0.1を超える地域も存在することが分かった。

地震豪雨複合災害時には、通常時に比べ内水氾濫を起こす地域が多く、最大浸水深も高くなる傾向がある。それに伴い病原微生物との接触の機会が増加し、病原感染リスクも下水道管が破断すると下水道管が破断していない場合と比較して1.2~10倍程度上昇するという結論を得た。これにより、通常時には衛生状態も良く機能性の高い都市部でも、地震豪雨複合災害時においては、病原感染リスクが高まることが示された。

しかしながら、本研究で算出した病原感染リスクの絶対値に関しては、前述したように、多くの仮定の設定の下に算出されているため、不確定要素が大きいと考えられる。今後は既往の氾濫事例前後での発症者の情報を収集して、破断無の場合に、本研究の感染リスク計算結果が概ね過去の氾濫時の状況を反映しているかどうかを確かめるなどして検証を行うことが必要であると考えられる。

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。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国立感染症研究所 感染症情報センター: 東日本大震災における感染症の発生および対策について, <http://idsc.nih.gov/jp/iasr/32/32s/mp32s1.html>.
- 2) 国立感染症研究所 感染症情報センター: 東日本大震災, 3月14日リスクアセスメント表, <http://idsc.nih.gov/jp/earthquake2011/RiskAssessment/trisukuhyouPDF/20110314hyou.pdf>.
- 3) 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および復旧状況について, <http://www.env.go.jp/recycle/jokaso/data/kentoukai/pdf/20110606-s02-01.pdf>.
- 4) 土研リサイクルチーム: 東日本大震災 下水道施設に係わる土研TEC-FORCE概要報告, <http://www.pwri.go.jp/team/recycling/miyagi.pdf>.
- 5) So Kazama, Toshiaki Aizawa, Toru Watanabe, Priyantha Ranjan, Luminda Gunawardhana and Ayako Amano: A quantitative risk assessment of waterborne infectious disease in the inundation area of a tropical monsoon region, *Sustainability Science*, Vol.7, No.1, pp.45-54, 2012.
- 6) 天野文子, 佐久間太佑, 風間聡: 水理氾濫モデルと現地患者数を用いた水系感染症リスクの時空間分布, *水工学論文集*, 第55巻, pp.S643-S648, 2011.
- 7) 佐久間太佑, 風間聡: 水理氾濫モデルと現地患者数を用いた水系感染症リスクの定量化, *水工学論文集*, 第54巻, pp.457-462, 2010.
- 8) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝: 地物データGISを用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案, *土木学会論文集B*, Vol.63, No.3, pp.206-223, 2007.
- 9) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝, 中川直子: 個別の地物情報を考慮した密集市街地におけるTokyo Storm Runoff Modelの提案, *水工学論文集*, 第55巻, pp.S517-S522, 2011.
- 10) Amaguchi H, Kawamura A, Olsson J and Takasaki T: Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation, *Journal of Hydrology*, No.420-421, pp.205-215, 2012.
- 11) 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.
- 12) 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B(水工学)*, Vol.69, No.4, pp. I_1609-I_1614, 2013.
- 13) 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄, 荒木千博: 都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, *土木学会論文集B*, Vol.65, No.3, pp.221, 2009.
- 14) 国土地理院: 土地条件図 東京西部, 2011.
- 15) 国土地理院: 土地条件図 吉祥寺, 2011.
- 16) 独立行政法人土木研究所 水災害研究グループ 水文チーム: アメダス確率降雨計算プログラム, <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>.
- 17) 金子光美: 水道の病原微生物対策, 丸善株式会社, pp.219-225, 2006.
- 18) 金子光美: 水質衛生学, 技報堂出版, p.438, 1996.
- 19) Risk assessment of choleraogenic *Vibrio cholerae* O1 and O139 in warm-water shrimp in international trade: MICROBIOLOGICAL RISK ASSESSMENT SERIES, Food & Agriculture Org, p.42, 2006.
- 20) Yoshifumi Masago, Hiroyuki Katayama, Toru Watanabe, Eiji Haramoto, Atsushi Hashimoto, Tatsuo Omura, Tsuyoshi Hirata and Shinichiro Ohgaki: Quantitative Risk Assessment of Noroviruses in Drinking Water Based on Qualitative Data in Japan, *Environ. Sci. Technol.*, 40, p.7430, 2006.
- 21) 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.
- 22) 金子光美: 水質衛生学, 技報堂出版, p.230, 1996.