

日本の都市における内水氾濫リスクの要因分析

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○中口 幸太

東北大学大学院工学研究科 正 会 員 小森 大輔

1. はじめに

水害統計¹⁾によると、2006年から2013年における一般資産被害額に占める内水氾濫の割合が、全国では42%であるのに対し、東京都で63.0%、愛知県で85.0%、大阪府で96.5%と大都市で大きくなっている。このように、近年の日本の都市で発生する水害は内水氾濫が中心となっており、効率的な治水政策を行うためには内水氾濫が頻発している区域の特性を解明することが必要不可欠である。

内水氾濫頻発区域の特性に関しては多くの既往研究がある。村山ら²⁾、福岡ら³⁾は水害統計を用いて内水氾濫に脆弱な地域を選択し、内水氾濫に脆弱となった過程を明らかにした。しかし、水害統計では実際に浸水した地域をミクロなスケールで空間的に知ることができない。また、これらの研究は個別地域に限定して解析を行っているが、内水氾濫頻発区域が普遍的に持つ特性を解明するためには、都市域全域といった広いスケールで解析を行う必要がある。さらに、内水氾濫頻発区域の特性を解明するためには、より詳細なスケールでの内水氾濫頻発区域を抽出する必要がある。しかし、大都市全域といった広いスケールにおける内水氾濫頻発区域の分布は未だわかっていない。一方、梯ら⁴⁾はそれまでの研究で使われたことの無い水害区域図を用いることで全国の外水氾濫常襲地を抽出し、その形成メカニズムを解明することに成功した。中口ら⁵⁾は梯ら⁴⁾に倣い水害区域図を用いることで、大阪市、名古屋市、和歌山市における内水氾濫頻発区域の分布を明らかにし、主成分分析を用いてそれらの区域が有する地形的特性を解析した。

本稿では、中口ら⁵⁾が行った解析をさらに進め、地形的特性の解明を試みた。

2. 内水氾濫頻発区域の形成に対する地形的要因の解析

2.1 “窪地”に位置する内水氾濫頻発区域の抽出

中口ら⁵⁾抽出した内水氾濫頻発区域は、どの要因に起因して形成されたものか不明であるため、地形的に集水し易い地域を地形的要因が他要因に対して卓越している地域と仮定して算出した。土地利用を建物用地、降雨量を大阪市における再現期間約50年極値降雨に相当する250mm/day⁶⁾で一定とし、二次元不定流モデルを用いて降雨による浸水深を算出した。床高を0.45mと仮定し、浸水深0.45m以上を地形的に水が集中しやすい“窪地”と

して抽出した。“窪地”に位置する内水氾濫頻発区域は、大阪市で10区域(14%)、名古屋市で58区域(54%)、和歌山市で8区域(50%)であった。

2.2 地形的特性の主成分分析

中口ら⁵⁾が用いた手法に従い、前節にて抽出した“窪地”に位置する内水氾濫頻発区域を対象として地形的特性に関する主成分分析を行った。使用行列は相関行列とした。結果を表-1に示す。主成分分析の結果、固有値が1を超えた主成分は3都市とも第3主成分までであり、その累積寄与率は大阪市：94%、名古屋市：80%、和歌山市：97%であった。このことから、本研究で用いた変数を有効に集約できたと言える。

各主成分の内容に関して、第一主成分において負荷量が大きい要素は大阪市では「上流側流路長」「流路長の差」、名古屋市では「累積流量」「上流側流路長」「標高」、和歌山市では「流路長の差」「上流側流路長」「累積流量」であった。名古屋市の「標高」を除けばこれらは全て対象区域

表-1：主成分分析の結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
大阪市			
固有値	2.24	1.68	1.57
寄与率	0.46	0.26	0.22
累積寄与率	0.46	0.71	0.94
第一位	上流側流路長	標高	傾斜角
第二位	流路長の差	凹地の深さ	下流側勾配
第三位	-	上流側勾配	凹地の容積
名古屋市			
固有値	2.17	1.60	1.25
寄与率	0.43	0.23	0.14
累積寄与率	0.43	0.66	0.80
第一位	累積流量	下流側勾配	下流側流路長
第二位	上流側流路長	傾斜角	流路長の差
第三位	標高	凹地の深さ	標高
和歌山市			
固有値	2.45	1.82	1.14
寄与率	0.55	0.30	0.12
累積寄与率	0.55	0.85	0.97
第一位	流路長の差	下流側勾配	下流側勾配
第二位	上流側流路長	勾配の差	標高
第三位	累積流量	下流側流路長	下流側流路長

キーワード：水害区域図、地形的要因、気象的要因、都市的要因

水環境システム学研究室 <http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/kaigan/index.html>

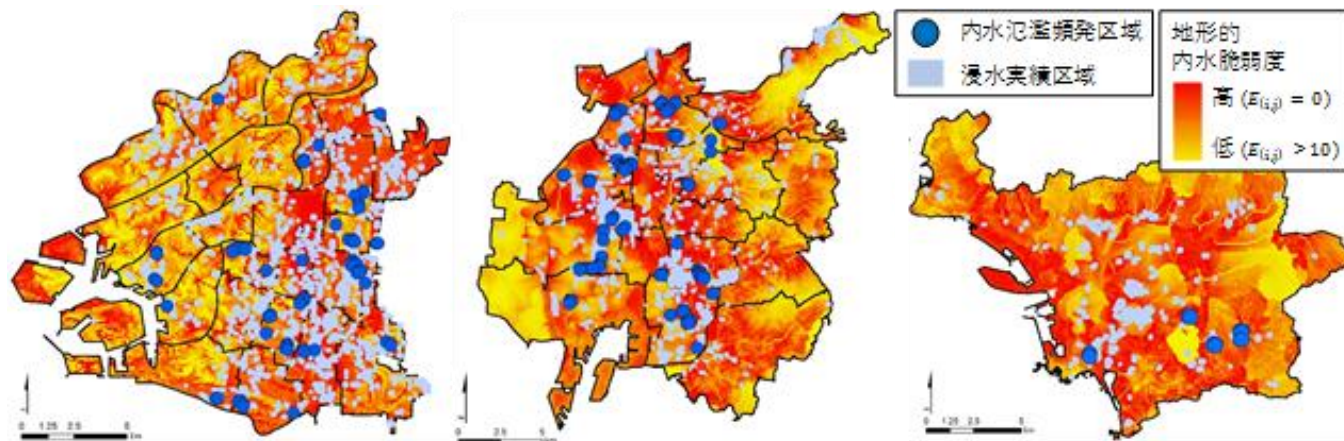


図-1：地形的内水脆弱度の分布（左：大阪市，中：名古屋市，右：和歌山市）

の上流側の状況に関する要素である。このことから、内水氾濫頻発区域を形成する地形的要因には上流側の状況に関する要素が大きく影響を与えていると考えられる。

2.3 地形的内水ハザードの可視化

前項で得た主成分分析の結果より、内水氾濫頻発区域の地形的特性と似た特性を持つ箇所を地形的内水リスクの高い箇所として抽出することを試みた。まず、主成分分析で得た主成分負荷量から、各都市の全域メッシュにおける各主成分得点を以下の式で算出した。

$$P_{n(i,j)} = \sum_{m=1}^{11} (a_{m(i,j)} \cdot l_m) \quad (1)$$

ここで、 $P_{n(i,j)}$ はメッシュ(i,j)における第n主成分得点を、 $a_{m(i,j)}$ はメッシュ(i,j)における要素 m の標準化した値を、 l_m は要素 m の因子負荷量を意味する。

次に、各メッシュにおける主成分得点と、内水氾濫頻発区域の主成分得点の平均値の差の絶対値の合計を以下の式で算出した。

$$E_{(i,j)} = \sum_{n=1}^3 (|P_{n(i,j)} - \overline{P'_n}| \cdot w_n) \quad (2)$$

ここで、 $E_{(i,j)}$ はメッシュ(x,y)における地形的内水脆弱度指標を、 w_n は第 n 主成分の寄与率を、 $P_{n(i,j)}$ はメッシュ(x,y)における第 n 主成分得点を、 $\overline{P'_n}$ は内水氾濫頻発区域における第 n 主成分得点の平均値を意味する。すなわち、 $E_{(i,j)}$ が小さいほど内水氾濫頻発区域と似た地形的特性を有する箇所であり、地形的内水氾濫ハザードが大きいといえる。算出した E の分布を図-1 に示す。1993～2012 年の内水氾濫による浸水区域(図-1 中に水色で示した区域)における $E_{(i,j)}$ の平均値を算出したところ、大阪市：1.92、名古屋市：1.15、和歌山市：1.70 であった。また、各都市の全域における $E_{(i,j)}$ の平均値は、大阪市：1.77、名古屋市：1.39、和歌山市：2.16 であり、大阪市においては浸水区域における $E_{(i,j)}$ の平均値が全域における平均値よりも大きいことから、地形的特性のみによって大阪市の内水氾濫による浸水区域を説明することは難しいと考えられる。

3. 結論

本研究から、以下の結論を得た。

- 1) 主成分分析を用いて“窪地”に位置する内水氾濫頻発区域の地形的要因を分析したところ、各都市とも第3主成分までで要素を有効に集約できた。また、各都市とも第1主成分において主成分負荷量が大きい要素は「上流側の状況」に関する要素であった。
- 2) 主成分分析の結果を用いて都市域全域における地形的内水脆弱度指標 E を算出し、過去の浸水実績と比較した結果、大阪市では地形的要因で内水氾濫の浸水区域を説明することは難しいことが定量的に示された。

謝辞： 本研究の一部は、気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)、公益財団法人能村膜構造技術振興財団の支援により実施された。水害区域図は国土交通省水管理・国土保全局河川計画課より提供いただいた。本論文の公表には澤本正樹研究発表奨励金の援助を受けた。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：水害統計調査，2006-2013
- 2) 村山良之：都市化に伴う水害常襲地の形成—川崎市の例—，東北地理，39(3)，pp.147-160，1987
- 3) 福嶋依子：都市型水害常襲地域の形成機構—埼玉県越谷市を事例として—，お茶の水地理，29，pp.43-46，1988
- 4) 梯滋郎，中村晋一郎，沖大幹，沖一雄：日本の水害常襲地の分布とその特性，土木学会論文集 B1 (水工学)，70(4)，pp.I_1489-I_1494，2014
- 5) 中口幸太，小森大輔，井上亮，風間聡：大阪市内における内水氾濫頻発区域の分布とその特性，水文・水資源学会誌，31(1)，9-16，2018。
- 6) 風間聡，佐藤歩，川越清樹：温暖化による洪水氾濫とその適応策，地球環境，14(2)，pp.135-142，2009。