

大阪における内水氾濫発生要因の動態解析

東北大学工学部建築・社会環境工学科 学生会員 ○只木想太
 東北大学大学院工学研究科 正会員 小森大輔
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 小柳津唯花
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 立川凌平

1. 研究背景および目的

水害統計調査¹⁾によると、2006年から2018年の一般資産被害額における内水氾濫被害額は、日本三大都市圏において全体の9割以上を占めている。甚大な被害をもたらす内水氾濫に対して効率的な対策を行うためには、内水氾濫の特性を理解することが重要である。

内水氾濫の物理的な発生特性に関する研究は多く行われており、中口・小森ら²⁾は大阪市、名古屋市、和歌山市と人口規模の異なる都市を対象に、内水氾濫が頻発する区域（以後、内水氾濫頻発区域とする）を定義し、内水氾濫頻発区域は水害脆弱地域の都市化や都市水害対策などによる地形的および都市的発生要因により人口規模が大きくなるにつれて増加し、大阪市の人口規模では減少することを明らかにした。

他方、欧米を中心として人間社会と水循環の相互作用を扱う「社会水文学(Socio-Hydrology)」が Sivapalan ら³⁾に提案され、学問としても体系化されつつある。そして、Di Baldassarre ら⁴⁾は水循環と人間社会の相互作用のシステムダイナミクスモデル（SHモデル）を用いた動態解析を提案した。しかしまだ日本での適用例は一つしか無く（Shibata ら⁵⁾）、内水氾濫に焦点を置いた研究はまだ存在しない。

そこで本研究では、内水氾濫の発生が減少傾向にある大阪市を対象に、SHモデルを内水氾濫と人間社会のモデルに改良して適用し、内水氾濫リスクの減少と人間社会の相互作用を明らかにすることを目的とした。

2. 研究手法

SHモデルは、洪水被害、洪水防御、人口、住民の社会記憶の相互作用を定式化したモデルである。

しかし、既往研究のSHモデルは内水氾濫に適用され

たことはなく、本研究では内水氾濫の影響を適切に表現するためにSHモデルの式を改良した。

まず、内水氾濫では防御レベル(H)として下水道整備率を使用し、洪水発生後の防御レベルの増加率(R)として次の式(1)を設定した。単位時間の降水量(R_F)を、それぞれの都市で設定されている下水道が耐えられる確率時間雨量(α_R)に洪水発生前の下水道整備率(H_-)をかけたものが超えた分に比例するように設定した。

$$R = \frac{R_F - \alpha_R \times H_-}{c_0 \times p_a} \quad (1)$$

このとき、 c_0 : 降水量と被害に関わるパラメータ、 p_a : 被害と下水道整備率に関わるパラメータである。

洪水被害(F)は、Di Baldassarre ら⁴⁾のものを参考にし、発生条件を R_F が $\alpha_R \times H_-$ を超えたときとして次の式(2)のように設定した。

$$F = 1 - \exp\left(-\frac{R_F - \alpha_R \times H_-}{c_0}\right) \text{ if } R_F > \alpha_R \times H_- \quad (2)$$

人口動態(D)、防御レベル(H)、洪水の記憶(M)に関しては、Di Baldassarre ら⁴⁾の式を用いた(3)、(4)、(5)。

$$\frac{dD}{dt} = \rho_D(1 - D(1 + \alpha_D M)) - \Delta(\psi(t))FD_- \quad (3)$$

$$\frac{dH}{dt} = \Delta(\psi(t))R \quad (4)$$

$$\frac{dM}{dt} = \Delta(\psi(t))FD_- - \mu_S M \quad (5)$$

このとき、 ρ_D : 人口密度の相対成長率、 α_D : 準備・意識比、 μ_S : 記憶喪失率である。

3. 対象地域とデータセット

本研究では、中口・小森ら²⁾を参考に水害区域図を用いて1993年から2017年において4回以上内水氾濫

キーワード 内水氾濫 社会水文学 相互作用 頻発区域

連絡先 東北大学 水環境システム学研究室 <http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/kaigan/>

が発生した区域（100m×100m 四方）を抽出し、内水氾濫頻発区域とした。そして、前半 13 年間と後半 12 年間の発生回数を比較し、回数が-3以下の区域を“前半”，-2~2 の区域を“継続”，3 以上の区域を“後半”として分類した。その結果，“前半”と“継続”がそれぞれ 136 地域と 35 地域，“継続”が 0 地域であった。これより、大阪市における内水氾濫が 1993 年～2017 年において減少していることが確認できた。

次に、抽出された 171 の内水氾濫頻発区域の中から、中口・小森²⁾を参考に、地形的要因の強い区域(大阪市城東区東中浜 8 丁目付近)と都市的要因の強い区域(大阪市阿倍野区天王寺町北 2 丁目付近)をそれぞれ 1 地域ずつ選定し、社会水文学モデルを適用した。

入力データとして、降水量データは radar AMeDAS 解析雨量の 25 年間の日最大 1 時間降水量を使用した。人口データは、国勢調査小地域統計のそれぞれの地域のものを使用した。記憶喪失率 μ_s は、既往研究⁴⁾⁵⁾で 0.05~0.5 の値を使用していたことから、0.05, 0.1, 0.5 を入力して比較した。それぞれ、記憶の半減期は約 14 年, 7 年, 1.4 年である。

4. 結果と考察

モデルの洪水記憶 M の結果を図-1 に示す。東中浜と天王寺町を比較すると、東中浜は内水氾濫発生地の地形的要因が強いため、定期的に内水氾濫が発生し、それによって住民の内水氾濫に対する記憶が常にある程度の大きさを保っていることが分かった。それに比べて天王寺町は都市的要因が強く、内水氾濫が発生するたびに記憶が大きく上昇し、次に発生するまでに下がってしまっていることが分かった。また、東中浜における 1995 年 7 月および 1996 年 8 月の降水量が同程度だったにもかかわらず、1996 年 8 月の浸水面積率は大幅に減少しており、住民の洪水に対する記憶によって被害が軽減されたことが分かった(適応効果)。

5. まとめ

本研究においては、大阪市の 2 種類の内水氾濫頻発区域において SH モデルを適用し、住民の洪水記憶の動態解析を行った。その結果、内水氾濫が定期的に発生する地域の方が、住民の内水氾濫に関する記憶が一定に保たれ、被害が軽減する可能性が示唆された。

表-1 SH モデルで使用したパラメータとその値

パラメータ	説明	値
α_R	大阪市の下水道が耐えられる確率時間雨量	60.0
c_0	降雨量と被害に関わるパラメータ	100
P_a	被害と下水道整備率に関わるパラメータ	3.50
ρ_D	人口密度の相対成長率	0.00125
α_D	準備・意識率	5.00
μ_s	記憶喪失率	0.500~0.500

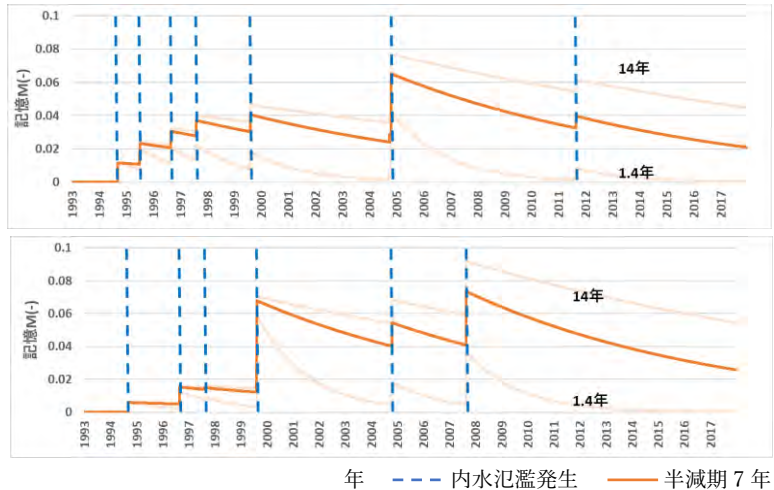


図-1 記憶の動態（上：東中浜 8 丁目，下：天王寺町北 2 丁目）

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（20H00256、代表：風間聡）の助成、東北大学災害科学・安全学国際共同大学院プログラムの支援により実施された。また、東大 CSIS 共同研究 No.1123 の成果の一部である。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。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，2006-2018
- 2) 中口幸太，小森大輔：日本の 5 都市を対象とした内水氾濫リスクを都市規模の関係評価，地域安全学会論文集 No.37,2020.11.
- 3) Sivapalan, M., H. H. G. Savenije, and G. Blöschl (2012), Socio-hydrology: A new science of people and water, Hydrol. Process., 26, 1270–1276.
- 4) Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L., and Blöschl, G.: Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes, Water Resour. Res., 51, 4770–4781, 2015.
- 5) Shibata N, Nakai F, Otsuyama K, Nakamura S. 2022. Sociohydrological modeling and its issues in Japan: a case study in Naganuma District, Nagano City. Hydrological Research Letters 16: 32–39. DOI: 10.3178/hrl.16.32.