

## 和歌山市における内水氾濫発生要因の動態解析

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
東北大学工学部	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

## 1. はじめに

水害統計調査<sup>1)</sup>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、内水氾濫の頻発する区域（以後、内水氾濫頻発区域とする）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いる。佐藤ら<sup>2)</sup>は過去に内水氾濫が発生した箇所の地形・地理的特性を数値化し、浸水箇所と類似する地形・地理的特性を持つ区域を対象地域から抽出した。福岡ら<sup>3)</sup>は、都市形成の歴史的背景に焦点を当て、内水氾濫に対して脆弱な地域の形成過程に関して考察を行った。また、中口ら<sup>4)</sup>は都市水害対策により、都市的発生要因の影響が減少することを推察した。小柳津ら<sup>5)</sup>は、内水氾濫の発生に影響する土地利用変化について推察した。

一方、内水氾濫をはじめとする水害の被害には、被災地域の住民の経験による記憶や対策の有無が影響する。Di Baldassarreら<sup>6)</sup>は人間社会と水システムの相互作用の理解に向けて、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。SHモデルは日本においては長野県長沼地区において適用可能性が検討されたのみ<sup>7)</sup>であり、内水氾濫単体へのSHモデルの適用例も存在しない。そこで、本研究においてはSHモデルを和歌山市において適用し、内水氾濫の発生による地域住民の記憶の動態を明らかにすることを目的とした。

## 2. 内水氾濫頻発区域

本研究においては、小柳津ら<sup>5)</sup>の手法を用いて、和歌山市における内水氾濫頻発区域の抽出を行った。内水氾濫頻発区域は、水害区域図を用いて算出し、1993年～2017年の25年間で3回以上内水氾濫が発生した地点とした。その結果、和歌山市において79区域の内水氾濫頻発区域が抽出された。内水氾濫頻発区域を内水氾濫の発生

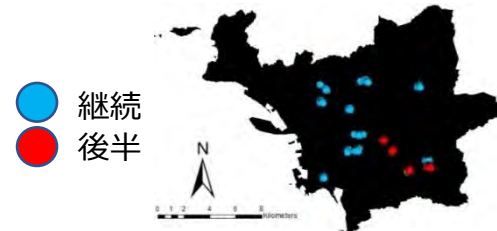


図-1 和歌山市における内水氾濫頻発区域

時期で、前半、後半、継続に分類したところ、前半の域は確認されなかった。分類した内水氾濫頻発区域の分布を図-1に示す。また、隣接する内水氾濫頻発区域を1つの内水氾濫頻発地域として捉えた場合、19地域となった。

## 3. SHモデル

## 3.1 SHモデルの概要

SHモデルは、洪水被害、洪水防御、人口、住民の記憶の相互作用を定式化したモデルである。人間社会と浸水のダイナミクスを微分方程式で表現している。しかし、既往研究のSHモデルは外水氾濫を対象としており、内水氾濫への適用ケースはなかった。本研究では内水氾濫の影響を表現するためにSHモデルの式を改良した。

## 3.2 SHモデルの改良

内水氾濫に適用するため、浸水被害と洪水防御を表す式を修正した。浸水被害は、降水量を使用した。内水氾濫対策事業として下水道整備が主に行われることから、下水道整備率を洪水防御の指標として用いた。修正したSHモデルの式を以下の式(1)～(5)に示す。

$$F = 1 - \exp\left(-\frac{R_F - \alpha_R \times H_-}{co}\right) \quad (1)$$

このとき、 $F$ ：洪水強度、 $H_-$ ：洪水発生前の洪水防御レベル、 $R_F$ ：単位時間の降雨量、 $\alpha_R$ ：確率時間雨量、 $co$ ：降雨量と被害にかかわるパラメータである。

浸水後の下水道整備率の増加分  $R$  は以下の通りである。

$$R = \frac{R_F - \alpha_R \times H_-}{pd} \quad (2)$$

$pd$ ：被害と下水道整備率に関するパラメータである。

キーワード：内水氾濫，社会水文学，SHモデル，浸水の記憶

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

電話：022-795-7455

地域社会の人口密度  $D$ 、洪水の記憶  $M$  は、先行研究と同様の式とした。洪水防御  $H$  は下水道整備率を使用した。なお、本研究においては、記憶の影響を精度良く推定するため、下水道整備率は計算ではなく実データを用いた。

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

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

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

このとき、 $\rho_D$ ：世帯数の相対成長率、 $\alpha_D$ ：準備・意識比、 $\mu_S$ ：記憶喪失率、 $\Delta(\Psi(t))$ ：洪水時1、その他0となる関数である。

### 3.3 SHモデルの条件

和歌山市は、公共下水道普及率が2019年度時点で39.6%である。そのため、下水道の普及の有無により、内水氾濫対策が異なる。そこで本研究では、上述の内水氾濫頻発地域より、下水道が普及している地域（関戸3丁目）としていない地域（寺内）を対象地域とした。

降水量データは、各地点における解析雨量データを実際に内水氾濫が発生した年のみ与えた。下水道整備データは、和歌山市わが街ガイドの公共下水道供用開始区域図<sup>8)</sup>を基に作成した。人口データは、国勢調査小地域集計より算出した。使用したパラメータを表-1に示す。記憶喪失率 $\mu_S$ は、既往研究<sup>6)</sup>で0.05~0.5の間の値を使用していたことから、0.05から0.5まで0.05刻みで与えた。記憶喪失率 $\mu_S$ が0.05, 0.1, 0.5のとき、記憶の半減期は約14年, 7年, 1.4年である。

### 4. SHモデルの適用

算出した地域住民の記憶の結果を図-2に示す。

関戸3丁目と寺内の結果を比較すると、最大値で関戸3丁目は寺内の1.99倍の記憶を持っていたことが分かった。これは、関戸3丁目にて1995年の発生から5~8年間隔で内水氾濫が発生し続けたことで、記憶が上書きされたことが原因であると考えられる。

関戸3丁目においては、2000年と2008年の降水量はそれぞれ52mm/hと80mm/hと2008年の方が多くなっている。しかし、水害区域図より抽出した実際の浸水面積は2000年と2008年で同程度であり、記憶の蓄積により内水氾濫の被害が減少した可能性が示唆された。

### 5. 終わりに

本研究においては、和歌山市の内水氾濫頻発区域にお

表-1 SHモデルで使用したパラメータ

パラメータ	説明	式	値
$\alpha_R$	和歌山市の1/5確率時間雨量	(1)	44.8
$c_0$	降雨量と被害に関するパラメータ	(1)	190
$\rho_D$	世帯数の相対成長率	(3)	0.00480
$\alpha_D$	準備・意識比	(3)	5.00
$\mu_S$	記憶喪失率	(5)	0.0500~0.500

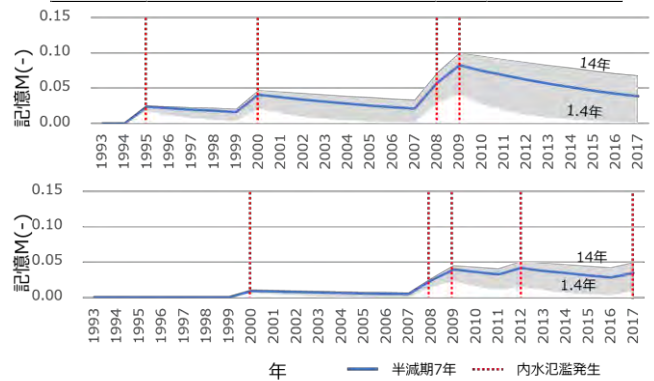


図-2 記憶の動態（上:関戸3丁目, 下:寺内）

いてSHモデルを適用することで、地域住民の浸水に対する記憶の動態の推定を行った。その結果、内水氾濫が定期的に発生することによって、住民の記憶が高い状態で維持されることが分かった。また、記憶の蓄積により内水氾濫の被害が減少した可能性が示唆された。

### 謝辞

本研究は、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) 佐藤李菜，林武司：浸水発生箇所における地形・地理的特性の検討と浸水可能性の可視化，水文・水資源学会誌，27(4)，158-169，2014.
- 3) 福嶋依子：都市水害常襲地域の形成機構：埼玉県越谷市をこと例として，お茶の水地理学会，Vol.29，pp.43-46，1988.
- 4) 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
- 5) 小柳津唯花，猪股亮介，峠嘉哉，小森大輔：和歌山市における内水氾濫頻発区域の分布とその特性，土木工学論文集 G（環境），2022
- 6) Di Baldassarre G. 2015. Debates – Perspectives on sociohydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. Water Resources Association 51: 4770–4781. DOI: 10.1002/2014WR016416.
- 7) Shibata N, Nakai F, Otsuyama K, Nakamura S. 2022. Socio hydrological 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.
- 8) 和歌山市わが街ガイド 公共下水道供用開始区域図 <https://www2.wagmap.jp/wakayamacity/Map>