

浸水危険度簡易評価法の研究

Study on Simple Evaluation Method for Inundation Risk

萩原 由訓¹

Yoshinori HAGIWARA¹

¹株式会社大林組 技術研究所

Technology Research Institute, Obayashi Corporation

Recently, Inundation damages occur caused by heavy rainfall. Thus, the demand for evaluation of inundation risk rises. It is revealed that it is difficult to simply evaluate with the same standards risk of inundation for sites that extended over local governments. In this study, a simple evaluation method for inundation risk using the Nationwide altitude, the Laplacian calculated from the altitude, the Terrain classification and a logistic regression is investigated. The evaluation is compared actual inundation areas. As the result, it is revealed that the method is effective for simple evaluate with the same standards risk of inundation.

Keywords: Inundation Risk, Simple Evaluation Method, Logistic Regression

1. はじめに

近年日本の降水量についての報告¹⁾によると、日降水量 100 mm 以上および同 200 mm 以上の日数ともに、1901～2021 年の 121 年間で増加している。また、1 時間降水量 50 mm 以上（非常に激しい雨、滝のように降る²⁾）および同 80 mm 以上（猛烈な雨、息苦しくなるような圧迫感がある²⁾）の年間発生回数についても増加している¹⁾³⁾。さらに、頻度だけでなく、大雨の強度（年最大 24 時間降水量等）も上昇している¹⁾。これらにともない、平成 30 年 7 月豪雨や令和 2 年 7 月豪雨など気象庁が名称を定めた事例⁴⁾だけでなく、豪雨による土砂災害や洪水、内水（水防法⁵⁾では雨水出水と定義しているが、以降、内水とする）の被害が頻発している。

気候モデルを使って日本周辺の 21 世紀末の気候変動予測計算を実施し、20 世紀末の気候と比較した既往の研究結果⁶⁾⁷⁾によると、日降水量 200 mm 以上となるような大雨の年間発生回数は全国的に有意に増加（最も温室効果ガスの排出が多いシナリオの場合、全国平均で 2 倍以上）し、1 時間降水量 50 mm 以上の短時間強雨の年間発生回数も全国的に有意に増加するとされている。したがって、将来にわたって豪雨による被害が増加することが容易に予想される。

近年、頻発・激甚化する豪雨による大きな被害の対策として、平成 27 年に水防法が改正⁵⁾された。この改正で、内水に対するハザードマップの作成が市町村に義務付けられた。しかし、現在のところ自治体の進捗には差がある。例えば、東京都墨田区の内水のハザードマップで設定されている雨量は、水防法に基づいた想定最大規模降雨⁸⁾で、時間最大雨量 153 mm（総雨量 690 mm）⁸⁾である。一方、隣接する葛飾区の内水のハザードマップは、水防

法に基づく内容ではなく⁹⁾、想定した雨量は時間最大雨量 114 mm（総雨量 589 mm）となっている。

上記のように、自治体間でハザードマップの公表内容に差があるため、複数の自治体に施設を持つ企業が水害の危険度の比較を行うことは難しい。筆者ら¹⁰⁾は、上記の背景のもと、国土交通省が全国を対象として公開している標高データ（250mメッシュ）¹¹⁾を用い、地形の凸凹の指標として使われることが多いラブラシアン¹²⁾を計算し、水害の危険度を評価する指標とした。さらに、被害履歴¹³⁾と比較しラブラシアンで危険度評価することの有効性を示した。しかし、ここでの有効性は定性的な評価にとどまっており、定量的な有効性は示していない。そこで本論では、ラブラシアンに加えて別の地形情報を加味した上で定量的な危険度評価の検討を行った。

本論で示す危険度評価のイメージを地震の場合と比較して図 1 に示す。一般的に、危険度評価結果を地図上に示すハザードマップでは、図 1(1) に示すように、ある外的要因（シナリオ）が発生した場合にどの程度の危険度があるかを示す。図 1(1a) に示すように、地震の場合、地震が発生した場合の震度分布¹⁴⁾で危険度を表す。図 1(1b) の水害の場合、想定した豪雨が発生した場合の浸水深⁸⁾で危険度を表す。しかし、外的要因による危険度の評価だけでは想定外の危険を見逃す可能性も考えられ、そもそもその場所が持っている内的要因の危険度を評価するという考え方もある。地震に対しては、図 1(2a) に示すように、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション（以下、J-SHIS¹⁴⁾）で公表されている地震の揺れの増幅率で危険度を表すことも可能である。同様に水害に対しても、図 1(2b) に示すように、ラブラシアン（凹地形で正の値をとる指標¹²⁾）を求めることで、その地点に本質的に内在する水害に対する危険度を評価する¹⁰⁾¹⁶⁾というこ

とも可能である。

本論では、図1(2)b)で示されるようなそれぞれの地点がもともと持っている水害に対する危険度を、統計的な手法を用いて定量的に評価するための浸水確率予測式の作成を目指す。

2. 評価手法

(1) 評価手法の概要

本論では、過去に水害を経験したことのある場所に対して、ラブラシアンおよび標高、地形区分を説明変数とした回帰式を作成し、水害危険度を評価するための予測式を作成する。なお、次節に示すように、用いる過去の水害データが東京都内のデータであるため、本章では評価の対象は東京都に限る。

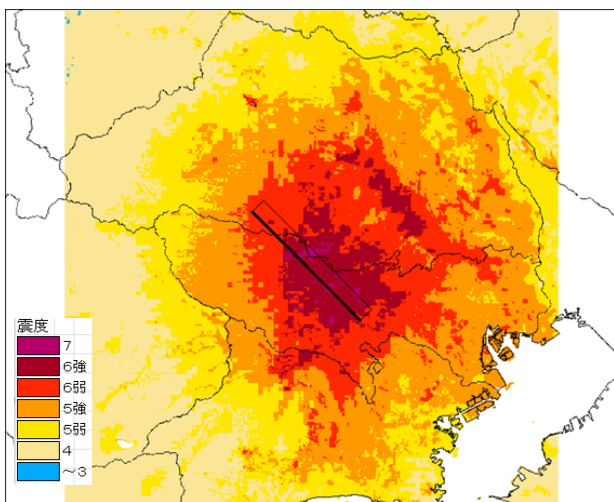
(2) 使用するデータ

a) 過去の水害データ（以下、浸水データ）

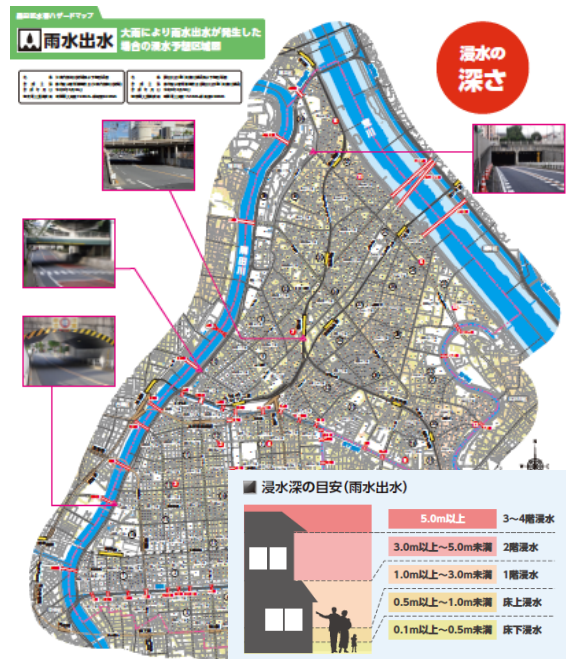
過去に水害を経験したことのあるデータとして、東京都¹³⁾によるものを使用する。これは水害区域面積が0.1ha以上もしくは被害建物棟数が10棟以上となる水害を被った浸水域を抽出したもの¹³⁾である。本論では昭和49年から平成23年についてまとめた浸水データ¹⁰⁾（図2）を使用する。

b) 標高データ

標高データは、国土地理院¹⁷⁾によるデータを利用して50mメッシュの平均値を求めたものを用いる。国土交通省の250mメッシュの標高値¹¹⁾の計算に倣い、10mメッシュの標高から求めた。

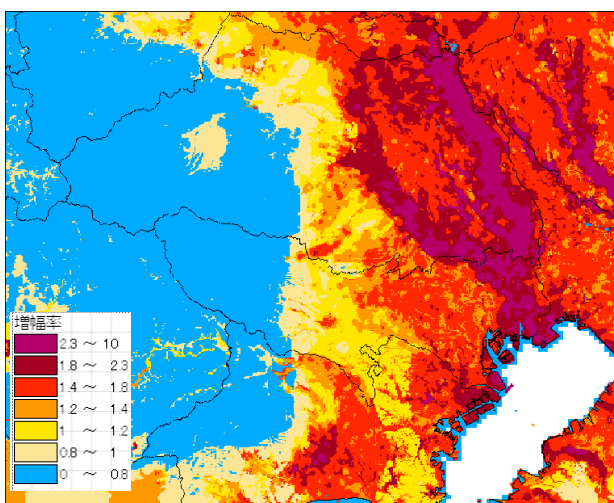


a) 地震ハザードマップの例¹⁴⁾より図化
(立川断層による震度分布)

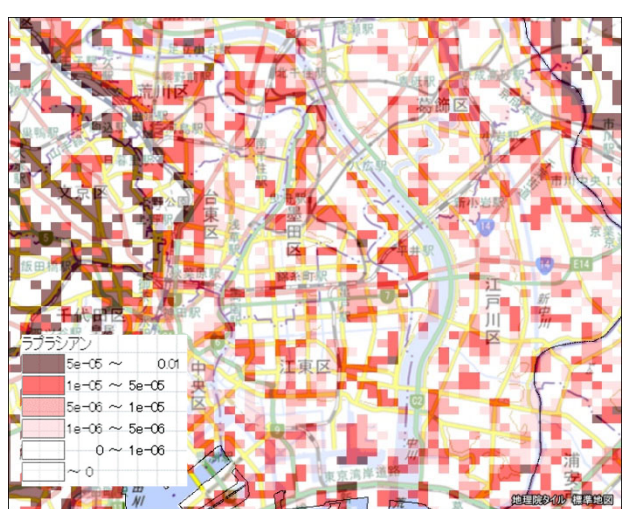


b) 水害ハザードマップの例⁸⁾に凡例を加筆
(想定最大規模降雨 時間最大雨量153mm)

(1) 外的要因（シナリオ型）の危険度評価



a) 地震ハザードマップの例¹⁴⁾より図化
(地盤増幅率)



b) 水害ハザードマップの例¹⁰⁾
(250mメッシュのラブラシアン、背景図は地理院タイル¹⁵⁾)

(2) 内的要因の危険度評価

図1 危険度評価（ハザードマップ）の例（地震と水害との比較）

c) ラプラシアン

ラプラシアン (L) は、図 3 で表される注目点(m,n)の標高を $u(m,n)$ としたとき、[1]式で求められる¹²⁾。

$$L(m,n) = \frac{u(m-1,n)+u(m+1,n)-2u(m,n)}{d_x^2} + \frac{u(m,n-1)+u(m,n+1)-2u(m,n)}{d_y^2} \quad [1]$$

d_x : 東西方向の格子間隔
 d_y : 南北方向の格子間隔

本論では、前記 50m メッシュ標高と国土交通省¹¹⁾により公開されている 250m メッシュ標高の 2 種類の標高を用いる。以前の検討¹⁰⁾で用いた 250m メッシュのラプラシアンでは表現できない規模の小さな凸凹を考慮するため、50m メッシュを追加することとした。250m メッシュ標高を用いた場合のラプラシアンを図 4 に示す。なお、図 3 に示す注目点(m,n)の四方のうち 1 か所でも標高データがない地点は計算から除外した。50m メッシュ標高に対するラプラシアンの絶対値の頻度分布を図 5(1)に示す。最大値は 0.08 であるのに対して半数以上のデータが 0.0005 以下に分布している。そこでここでは、ラプラシアン (L) は常用対数をとった値とする。ただし、L は窪地な

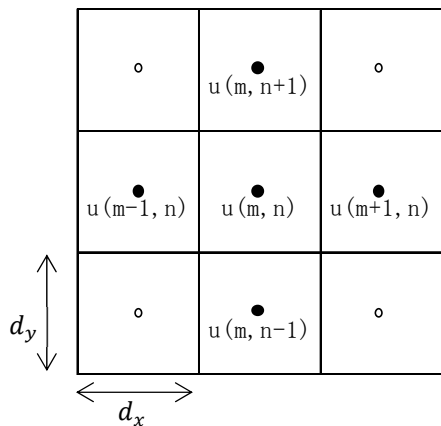
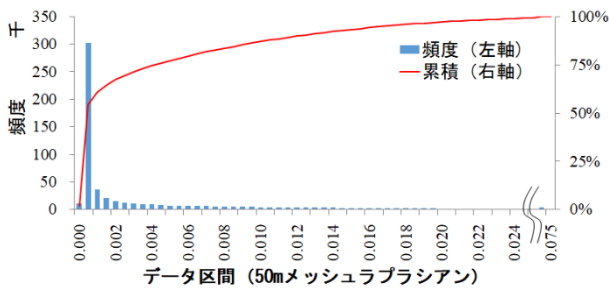
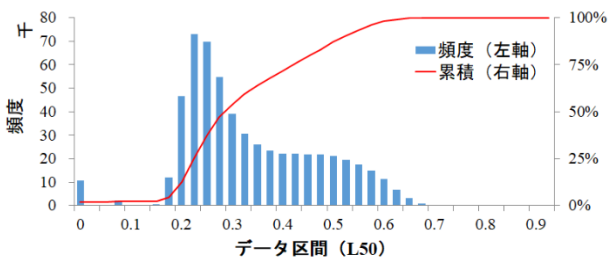


図 3 ラプラシアンの計算に用いた標高の配置



(1) ラプラシアンの絶対値の頻度分布



(2) ラプラシアンの変換値 (L50) の絶対値の頻度分布

図 5 ラプラシアンの頻度分布 (50m メッシュ標高)

ど凹地形で正の値、凸地形では負の値をとる¹²⁾ことから、[2]式で示すように、絶対値としたうえで常用対数を取り、もともとの値が負の場合は負とするような変換 (L') を行っている (以下、変換後の値 (L') を L50, L250 とする)。図 5(2)に 50m メッシュ標高のラプラシアンの変換値 (L50) の絶対値の頻度分布を示す。変換の結果、分布の偏りは減少した。

$$\begin{cases} L > 0 & L' = \log_{10}(L) \\ L = 0 & L' = 0 \\ L < 0 & L' = -\log_{10}(|L|) \end{cases} \quad [2]$$

d) 地形区分データ

地形区分データは、J-SHIS¹⁴⁾による微地形区分を用いる。地形区分を加味することで、地形の成り立ちを危険度の評価に考慮することが可能であると考えた。ただし、本論では微地形区分を直接回帰式に用いるのではなく、同じく J-SHIS にて公開されている 30m 平均 S 波速度のデ

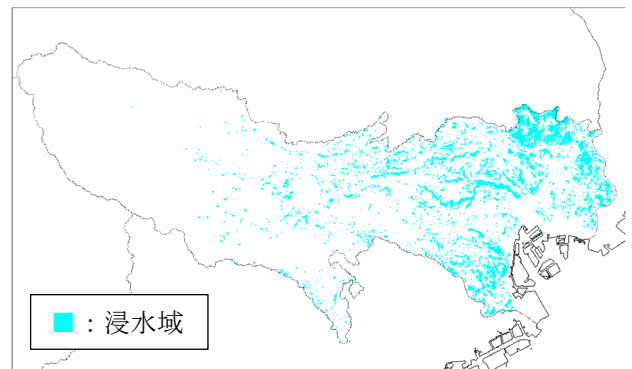


図 2 東京都の浸水実績図¹³⁾

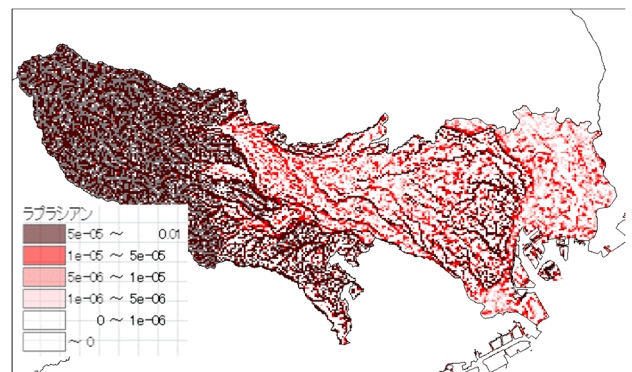


図 4 使用するラプラシアンの分布 (250m メッシュ)

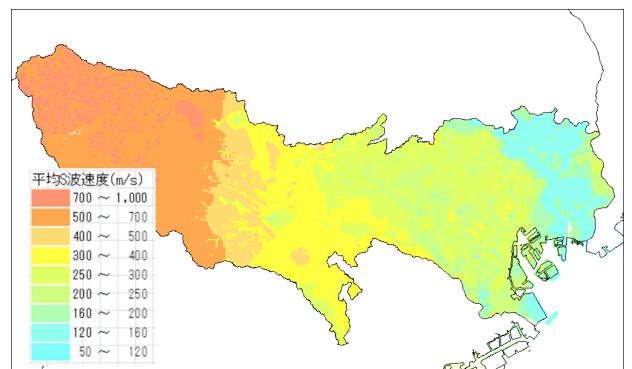


図 6 平均 S 波速度¹⁴⁾より図化

ータ（以下、平均S波速度）を用いる（図6）。平均S波速度は、地表から深さ30mまでの平均せん断波速度である。この値は微地形区分ごとに算出されたものであり¹⁴⁾、山地では600m/s以上、丘陵地や台地に属する微地形区分では300~500m/s程度、平野部に分布する微地形区分では200m/s前後の値をとる¹⁸⁾。

(3) 回帰式について

使用する回帰式は、目的変数を浸水データとし、説明変数を標高データ (Ele)、50mメッシュのラプラシアン (L50)、250mメッシュのラプラシアン (L250)、平均S波速度 (AVS) の4変数とする。浸水データが、過去に浸水したことがあるかないかの2値であるため、回帰分析のうちロジスティック回帰分析^{例えば19)}を用いる。ロジスティック回帰分析は、「あり・なし」で表現される目的変数のうち「あり」の出現する確率をPとした場合、[3]式および[4]式で表せる。説明変数xは $-\infty \sim +\infty$ の値をとるのに対して、Pは、 $0 < P < 1$ の値をとる。発生確率(P)と非発生確率(1-P)との比をとるとその範囲は $0 \sim +\infty$ となる。さらに[3]式左辺のように対数をとることで、その範囲は $-\infty \sim +\infty$ となり、回帰分析として扱いやすい形になる。

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n \quad [3]$$

$$\therefore P = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n)\}} \quad [4]$$

ここで、 β_0 ：定数、 β_n ：回帰係数、 x_n ：説明変数

3. 浸水危険度簡易評価

まず初めに、過去の浸水データ（浸水あり=1、浸水なし=0）を東京都の全50mメッシュに割り振る。この際、メッシュ全体が前章(2)a)の浸水域に含まれたものを1とした。次に、前章(2)b)~d)のデータを50mメッシュに割り振った。その結果、対象となる50mメッシュのデータ数は573,131となった。このデータをランダムに3:1に分け、予測式作成用データと検証用のデータとした。

まず、予測式作成用データに対して回帰分析を行い、浸水危険度（浸水確率）評価のための予測式を作成する。前述の4変数 (Ele, L50, L250, AVS) を説明変数とし、目的変数である浸水確率P（0または1）を、[3]式に当てはめ回帰分析を行い、回帰係数を求めた。回帰分析にはR²⁰⁾を用いた。

求めた回帰係数を表1に示す。同表には回帰結果の統計的有意性を示すp値も示している。どの説明変数のp値も一般的に用いられる有意水準0.05と比較し非常に小さく、求めた回帰係数は統計的に有意である。なお、各説明変数の相関について、多重共線性の存在を表す尺度として用いられるVIF値（分散拡大要因）を求めた。多重共線性の存在の目安として提案されている10以上²¹⁾に対して、どの変数も2.2以下であり変数間で相関は高くはないと考えられる。また、[2]式で示した変換したラプラシアンを使わない場合、50mメッシュのラプラシアンに対するp値が大きくなり、有意な回帰係数が求まらないことを確認している。表1に示すように、EleおよびAVSに対する回帰係数は負の値となっており、それぞれの説明変数が大きくなる（標高が高くなるまたは平均S波速度が大きくなる）ほど浸水確率が小さくなることを意味する。逆にL50、L250が大きくなる（凹が大きくなる）

ほど浸水確率が大きくなる。

図7に、ROC曲線^{例えば22)}（Relative Operating Characteristic curve, 相対作用特性曲線）を示す。ROC曲線は、浸水確率Pにある閾値を設定し、閾値が変化するときの、表2および[5]式[6]式で表される誤検出率 (Fr)、捕捉率 (Hr) を平面上にプロットしたものであり、平面の左上側に膨らんだROC曲線ほど精度が高いと評価することができる²²⁾。

$$F_r = \frac{FX}{X} \quad [5]$$

$$H_r = \frac{FO}{M} \quad [6]$$

ここで、

FX：予測=浸水ありかつ過去に浸水なしの事例数

X：過去に浸水なしの総数

FO：予測=浸水ありかつ過去に浸水ありの事例数

M：過去に浸水ありの総数

図7で左上(F_r, H_r)=(0,1)に最も近い点（図中○）の時の浸水確率は0.032となっている。この値を閾値とした時（閾値以上の場合に予測=浸水ありとする）の誤検出率

表1 回帰係数

	回帰係数	p値
定数	-1.959	(2e-16未満)
Ele	-0.029	(2e-16未満)
L50	0.268	2.95E-08
L250	1.214	(2e-16未満)
AVS	-0.003	(2e-16未満)

(Ele：標高、L50：50mメッシュのラプラシアンの変換値、L250：250mメッシュのラプラシアンの変換値、AVS：平均S波速度)

表2 分割表²²⁾

		過去に浸水		計
		あり	なし	
予測	あり	適中 (FO)	空振り (FX)	FO+FX
	なし	見逃し (XO)	適中 (XX)	XO+XX
計		M	X	N

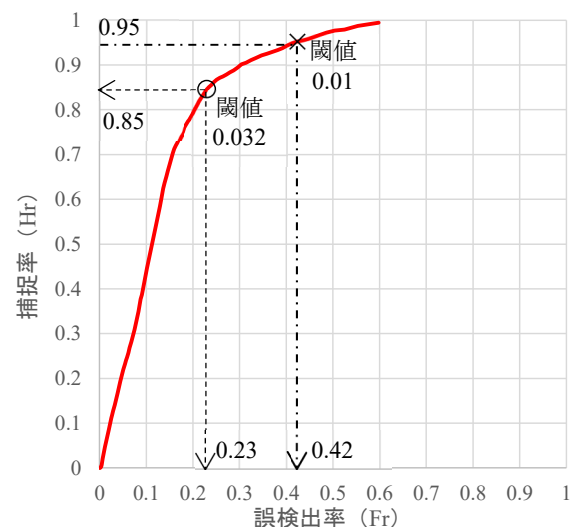


図7 ROC曲線（相対作用特性曲線）

は 0.23, 捕捉率は 0.85 である。「過去に浸水あり」の見逃しを少なくするために, 捕捉率を 0.95 とした場合 (図中×) の浸水確率は 0.01 となり, この時, 誤検出率は 0.42 になる。つまり, $P=0.032$ 以上を浸水ありと評価すると 85%の浸水域を適中することができ, $P=0.01$ 以上を浸水ありと評価すると 95%の浸水域を適中することが可能である。

また, 1 に近いほど予測の精度が高いことを示す指標である適中率²²⁾を表2および[7]式より求めると, $P=0.032$ の場合 0.77, $P=0.01$ の場合 0.58 となる。

$$\text{適中率} = \frac{FO+XX}{N} \quad [7]$$

ここで,

FO: 予測=浸水ありかつ過去に浸水ありの事例数

XX: 予測=浸水なしかつ過去に浸水なしの事例数

N: データの総数

次に, 検証用データに対して先の予測式 ([4]式および表 1) を適用した。過去の浸水の有無別に, 予測浸水確率の頻度分布を図 8 に示す。図 8 中には前述の閾値 ($P=0.032$) を破線で示した。図 8 中には, 閾値を基準としたデータ数も示している。この時, 過去に発生した実況と予測の分割表²²⁾を表 3 に示す。図 8 および表 3 からわかるように, 過去に浸水ありのメッシュの多くは予測でも浸水あり, 浸水したことがないメッシュは浸水なしに評価できており, [7]式で求めた適中率は予測式作成時と同じ 0.77 であった。なお, 誤検出率は 0.23, 捕捉率は 0.84 であり, これらの値も予測式作成時と同程度となっている。

予測式作成用データおよび検証用データすべてに対して, 予測式を適用した結果の地図を図 9 に示す。東京の東部に広がる低地帯や川筋に沿って浸水確率が高くなっていることが確認できる。

この予測式により, 過去の浸水経験の有無に限らず, 浸水確率, つまりはその地点がそもそも持っている浸水に対する危険度を簡易的に一律の基準で評価できるようになった。

4. 予測式の検証

前章では東京都のデータを基に浸水危険度評価のための予測式を作成した。本章では, 作成した予測式を用いて他の地域の危険度評価を行い, 過去の水害データとの比較検証を行う。

(1) 国土交通省による国土調査データ²³⁾

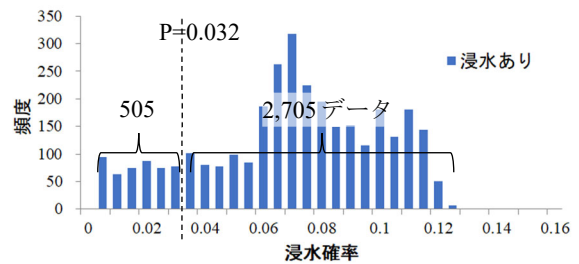
国土調査データにおける災害履歴調査データ²³⁾と前章で作成した予測式による結果とを, 横浜市周辺を対象として比較を行う。対象とするデータは, 台風, 集中豪雨, 長雨等による浸水範囲を対象にデジタルデータ化されたもので, 昭和 22 年~平成 17 年 (1947~2005 年) が対象となっている²³⁾ (図 10(1))。

図 10(2)に予測式による浸水確率評価結果を示す。図 10(1)の南西部に広がる線上の浸水域で浸水確率が高くなっていることが確認できる。浸水域のデータに関して, 浸水確率毎の頻度分布を図 11 に示す。これをもとに, [6]式より捕捉率を求めると 0.86 となっており, 3 章の結果とほぼ同じ値となった。

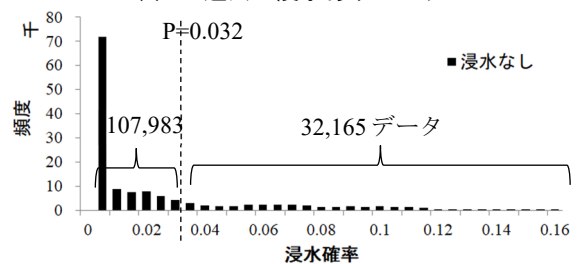
(2) 令和 2 年 7 月豪雨 (国土地理院のデータ²⁴⁾)

令和 2 年 7 月豪雨に関して, 国土地理院が公開している浸水推定図と前章で作成した予測式による結果とを比較する。公開データ²⁴⁾のうち, 対象とした久留米市など筑後川流域, みやま市周辺, 日田市友田周辺の推定浸水域を図 12(1)に示す。

図 12(2)に予測式による評価結果を示す。久留米市, みやま市の推定浸水域では浸水確率はほぼ 0.05 以上に評価されている。日田市の浸水推定範囲は浸水確率 0.03 前後の評価結果になっている。浸水が推定されている地域のデータに関して, 浸水確率毎の頻度分布を図 13 に示す。これをもとに, [6]式より捕捉率を求めると 0.998 となっている。



(1) 過去に浸水ありのメッシュ



(2) 過去に浸水なしのメッシュ

図 8 浸水確率の頻度分布

表 3 検証用データの分割表

		過去に浸水		計
		あり	なし	
予測	あり	2,705	32,165	34,870
	なし	505	107,983	108,488
計		3,210	140,148	143,358

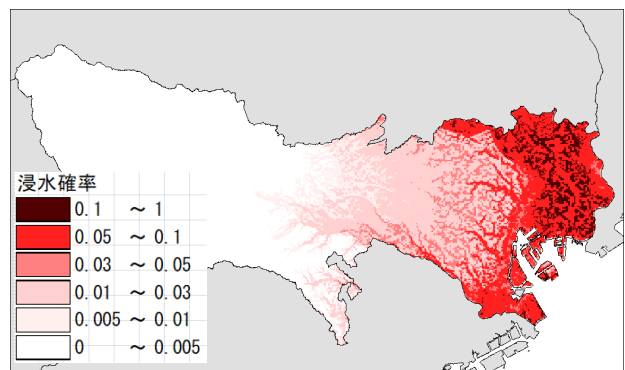
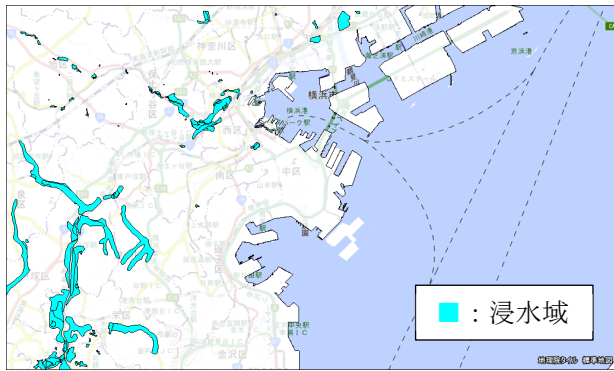
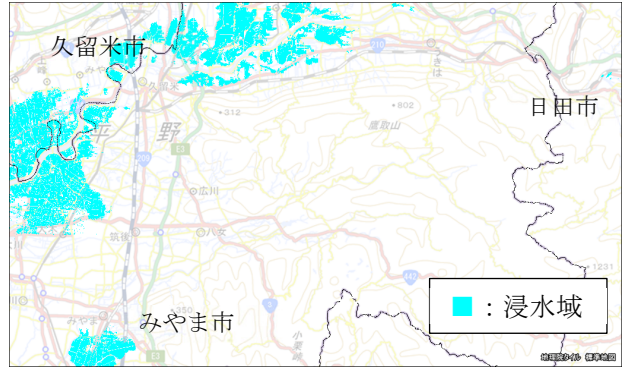


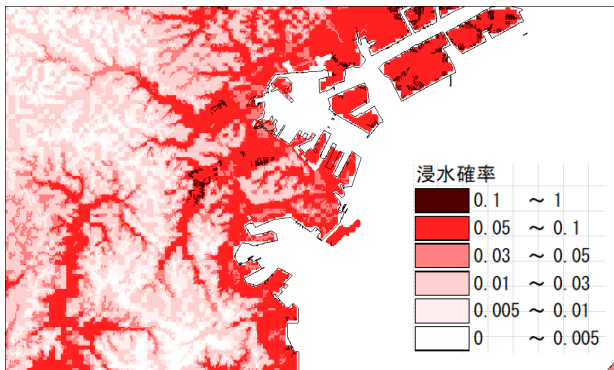
図 9 予測式による浸水確率評価結果 (予測式作成用データを含む全データ)



(1) 国土調査による浸水域²³⁾
(背景図は地理院タイル¹⁵⁾)



(1) 令和2年7月豪雨の浸水推定範囲²⁴⁾
(背景図は地理院タイル¹⁵⁾)



(2) 予測式による浸水確率評価結果

図10 国土調査のデータの浸水域と浸水確率の比較
(横浜市周辺)

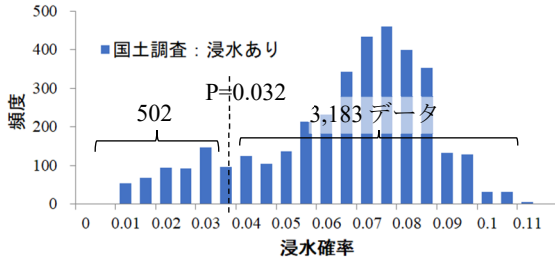
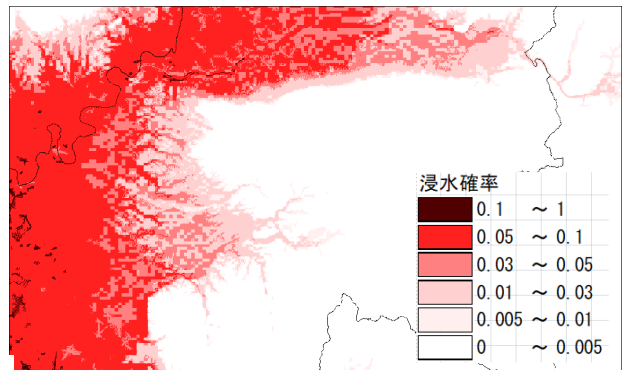


図11 浸水確率の頻度分布 (横浜市周辺)



(2) 予測式による浸水確率評価結果

図12 国土地理院のデータの浸水推定範囲と
浸水確率との比較 (令和2年7月豪雨)

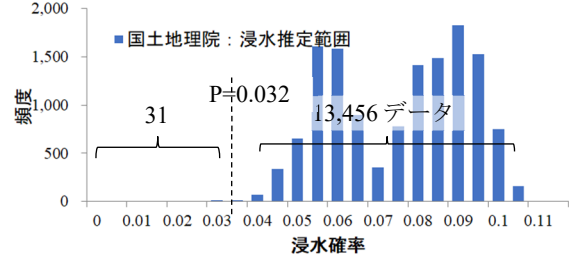


図13 浸水確率の頻度分布 (令和2年7月豪雨)

(3) インターネットによる情報

近年、スマートフォンの普及や SNS の発達により、豪雨直後からインターネットで浸水の状況を確認できることが多くなった。ここでは、インターネットのニュース例えば²⁵⁾や SNS の災害情報収集システム²⁶⁾から得られた浸水情報と前章で作成した予測式による結果とを比較する。2021年11月9日に、前線を伴った低気圧の影響で発生した神奈川県の大雨を対象とした。この大雨の影響で、横須賀等には警戒レベル4相当の土砂災害警戒情報が発表された²⁵⁾。

インターネットの情報²⁵⁾²⁶⁾から特定した横須賀市内の浸水地点と周辺の浸水確率評価結果を図14に示す。6点の浸水地点中5地点は浸水確率0.032以上となっている。捕捉率を求めると0.83となり、3章の結果とほぼ同じ値となった。

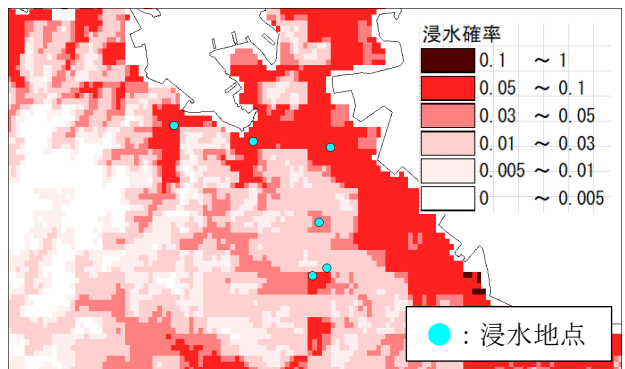


図14 インターネットの情報²⁵⁾²⁶⁾ (浸水地点)と
浸水確率との比較 (横須賀)

5. まとめ

それぞれの地点がもともと持っている水害に対する危険度を簡易的に評価するための浸水確率の予測式を統計

的な手法を用いて作成した。

まず、東京都の被害履歴¹³⁾を目的変数、50mメッシュの標高、50mおよび250mメッシュのラプラシアンおよび地形区分から求まる平均S波速度を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。その結果求めた予測式による浸水確率に対して、0.032以上を浸水ありと評価した場合、誤検出率は0.23、捕捉率は0.85となった。この時、予測の精度を示す適中率は0.77であった。

次に、検証用データを用いて浸水確率を評価した結果でも、適中率は0.77となり、予測式作成時の精度と同様な結果であった。

最後に、東京都以外の3地域における過去の水害データと予測式による浸水確率評価結果との比較を行った。これらのデータを用いた場合も予測式作成時と同程度以上の評価となることを確認した。したがって、作成した浸水確率予測式を東京都以外の地域に適用することも可能であると考えられる。

作成した浸水確率予測式により、全国どこでも統一した基準で浸水危険度を評価することが可能となった。今後は、ほかの事例を用いて予測式の適用性をさらに確認するとともに、同じデータベースを用いて、説明変数同士の非線形性も考慮できる機械学習による評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 気象庁：2021 世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況、気候変動監視レポート、p.56-58, 2021.
- 2) 気象庁：雨の強さと降り方、https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html, 2022.07 閲覧.
- 3) 気象庁：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化、https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, 2022.07 閲覧.
- 4) 気象庁：災害をもたらした気象事例、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>, 2022.07 閲覧.
- 5) 小澤隆：近年の水害の状況と水防法、国立国会図書館調査と情報-ISSUE BRIEF-, No.946, p.7, 2017.
- 6) 気象庁：IPCC の RCP8.5 シナリオを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測、地球温暖化予測情報、第9巻 pp.27-31, 気象庁, 2017.
- 7) 文部科学省、気象庁：大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書（詳細版）、日本の気候変動 2020, pp.72-75, 文部科学省・気象庁, 2020.
- 8) 墨田区：墨田区水害ハザードマップ雨水出水, 2022, https://www.city.sumida.lg.jp/anzen_anshin/bousai/suigai/suigai.files/usui.pdf, 2022.06 閲覧.
- 9) 葛飾区：水害ハザードマップ, 2020,

- <https://www.city.katsushika.lg.jp/kurashi/1000063/1004031/1022522.html>, 2022.06 閲覧.
- 10) 萩原由訓、野畑有秀：GIS データを用いた都市水害に関する簡易危険度評価の研究、大林組技術研究所報, No.79, 2015.
- 11) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス、<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-d.html>, 2022.11 閲覧.
- 12) 野上道男：50m-DEM による地形計測値と地質の関係、地理学評論, 72A-1, pp.23-29, 日本地理学会, 1999.
- 13) 東京都建設局：過去の水害の記録、https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyos/river/suishin/suigai_kiroku/kako.html, 2022.07 閲覧.
- 14) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション (J-SHIS), <https://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2022.07 閲覧.
- 15) 地理院タイル：<https://maps.gsi.go.jp/>, 2022.07 閲覧.
- 16) 副島紀代、萩原由訓、榎木康太、吉野攝津子、野畑有秀：多様化する水害リスクの評価技術、大林組技術研究所報, No.82, 2018.
- 17) 国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル、<https://www.gsi.go.jp/kiban/>, 2011.12 閲覧.
- 18) 松岡昌志、若松加寿江、藤本一雄、翠川三郎：日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定、土木学会論文集, No.794/I-72, pp.239-251, 2005.
- 19) 中澤秀夫：ロジスティック回帰、日本医科大学医学会雑誌, 10 巻, 4 号, pp.186-191, 2014.
- 20) Yoshinobu Kanda : Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics, Bone Marrow Transplantation, 48, pp.452-458, 2013.
- 21) 天坂格郎、大岩洋之、神尾信：多重共線性の影響と新変数選択法の提案：変動要因解析のための重回帰分析活用法に関する研究、日本経営工学会誌, 46 巻 6 号, pp.573-584, 1996.
- 22) 気象庁予報部：令和元年度数値予報研修テキスト「最近の数値予報システムとガイダンスの改良について」、数値予報解説資料, 52, pp.148-152, 2019.
- 23) 国土交通省：土地分類調査・水調査 土地分類基本調査(土地履歴調査) 災害履歴図 土地履歴調査 (横浜 GIS データ), 2011, https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/saigai_rirei.html, 2022.07 閲覧.
- 24) 国土地理院：令和 2 年 7 月豪雨に関する情報、浸水推定図の浸水範囲の輪郭線, 2020.08 閲覧.
- 25) YAHOO ニュース：横須賀などに一時土砂災害警戒情報 飲食店浸水も、テレビ神奈川, <https://news.yahoo.co.jp/articles/075def47c65c18bef67829c65108942bff07fc34>, 2021.11 閲覧.
- 26) SPECTEE : <https://spectee.co.jp/>, 2021.11 閲覧.

(原稿受付 2022.8.27)

(登載決定 2023.1.7)