

洪水氾濫時の湛水量をどう計算するか？
-浸水シミュレーションデータを用いた検証例-
How to Calculate the Flood Water Volumes?
- Verifications Using the Inundation Simulation Data -

地理地殻活動研究センター 岩橋純子, 中埜貴元, 大野裕幸
Geography and Crustal Dynamics Research Center
IWAHASHI Junko, NAKANO Takayuki and OHNO Hiroyuki

要 旨

洪水時の河川氾濫による湛水量（浸水体積）を、水際の位置に相当する浸水領域の外周点の GIS データ（浸水の位置を示す点群）と基盤地図情報の数値標高モデル（Digital Elevation Model: DEM. 以下「DEM」という。）から自動計算して求める手法について考察した。浸水発生時に実際の正確な湛水量を把握することはできないため、「国土交通省地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）」で公開されている浸水シミュレーションデータから計算した湛水量を正解値として、複数の計算手法による湛水量計算結果の精度を検証した。湛水量は、浸水領域の外周点の GIS データのみを用いて数パターンの手法で水面標高を計算し、それと基盤地図情報の 5m メッシュ標高データ（以下「5mDEM」という。）との差分によって求めた。その結果、水面標高の計算手法が結果に与える影響について、次のことがわかった。(1) 浸水領域外周の標高点群を全て用いる場合は、Natural Neighbor 法を用いた内挿補間を用いると、一次傾向面を用いたケースや、点群の標高の平均値・最低値・中央値による水平面を水面標高としたケースより正解値に近い湛水量となった。水平面を用いたケースの中では、平均値による手法が比較的良かった。(2) 水際の位置を一部しか与えないケースでは、内挿補間による水面を使えないため傾いた水面の水面標高の生成は難しく、また、一次傾向面を用いたケースの誤差が非常に大きくなった。点群の標高の平均値・最低値・中央値による水平面を比較すると、比較的安定した結果が得られるのは平均値による水平面であった。

また、浸水領域の GIS データとして手動で描画されたデータを用いた場合の位置ずれの影響（主として急勾配の線状盛土との接地によるもの）を除外する方法について補足的に検討したところ、隣接点間の移動平均からの偏差によって外れ値を識別・除外することが有効であった。

1. はじめに

国土地理院では、堤防の決壊や越流などにより浸水した場合に、ヘリコプターまたは航空機による空

撮画像（斜め画像または垂直画像）から、浸水境界の位置の判読や、浸水深の推定（吉田, 2018, 2019）が行われてきた。

浸水領域の GIS データは、通常、水際の位置を示す点（ポイント）データや線（ライン）データ、外周（ポリゴン）データとして与えられる。湛水量の計算は、多くの現場では、推定浸水領域の面積に一定の推定平均浸水深を掛け算することによって求められてきた。しかし、航空レーザ測量による DEM の精度向上や同データの整備範囲の拡大によって、水面標高と地盤の標高の差分による湛水量計算も不可能ではなくなってきた。一方、浸水領域の情報としては様々な内容・精度のものが想定され、それぞれどのような計算手法を用いるのが良いのか、はっきりわかっていなかった。これは一義的には、刻々と変化する湛水量の実測データが無いことに起因する。

現在、「国土交通省地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）」から、想定最大規模の浸水深画像が一部河川について公開されている。浸水シミュレーションは河川工学分野でその妥当性が確認されており、水害ハザードマップはこれらの浸水シミュレーションの結果を基に作成される。そこで本論では、浸水シミュレーションデータから計算した湛水量を正解値と仮定し、複数の湛水量の計算手法を検証した。

2. 検証手法

2.1 湛水量の正解値（仮定）の計算手法

湛水量算出の検証に用いた浸水シミュレーションデータは表-1 のとおりである。浸水シミュレーションデータは約 25m メッシュの点データであり、「浸水深」、「標高」、「流速」と、メッシュ四隅の座標が属性フィールドに記載されている。このうち「標高」は、地形の代表的な標高を表現するものとされ、堤防等の連続盛土を除いた地盤高が約 25m メッシュに集約されて記載されている（国土交通省, 2017）。地盤高の元データは航空レーザ測量による DEM 等の高解像度データである。「浸水深」はシミュレーション結果による想定最大浸水深で、水面か

ら、連続盛土を除いた地盤高までの深さが記載されている。従って「浸水深」+「標高」が水面標高となる。

検証には、淀川の大阪府守口市・門真市付近（想定破堤点 BP045）と、筑後川の福岡県久留米市付近（想定破堤点 BP263）の浸水シミュレーションデータを用いた（表-1）。淀川のシミュレーションデータ（以下「淀川 BP045」という。）は、開けた平野で破堤後9時間経過した設定で、約5.7×9.5kmの大きな湛水領域である。破堤点付近で最も水面標高が高く、離れるに従って同心円状に水面標高が低くなっており、水面の傾き（動水勾配）が明瞭に見られるデータである（図-1上）。一方、筑後川のシミュレーションデータ（以下「筑後川 BP263」という。）は、中・上流域にあたる平野部で破堤後5時間経過した設定で、浸水領域は約6.4×1.7kmと淀川BP045に比べ狭い。水面標高は、破堤点付近とその東側で凹凸が大きく、動水勾配が見られるが、西側は静水面に近い（図-2上）。なお、シミュレーションデータは、筑後川BP263のような中・上流部の場合、破堤点で洪水が発生した際には他の地点でも越流が起きていると考えて、広範囲で同時多発的に洪水が発生するようなデータとなっているが、本論では湛水量の再現手法の確認が目的であるため、破堤点を含む浸水領域のみを検証に用いた。

約25mメッシュのシミュレーションデータ全点の水面標高を、GIS上でTIN法により補間して5mメッシュの水面標高ラスタを作成し、基盤地図情報標高タイルから内挿補間した5mDEMとの差分により浸水深を求め（図-1下、図-2下）、湛水量を計算した。ここでメッシュサイズを5mとしたのは、基盤地図情報標高タイルの主要なデータ（DEM5A, DEM5B）が約5mメッシュであり、後述する比較データは5mメッシュで計算したからである。淀川BP045の「浸水深」（図-1下）の平均（想定最大浸水深の平均）は約1.62m、筑後川BP263の「浸水深」（図-2下）の平均（想定最大浸水深の平均）は約1.5mである。国土交通省（2018）に倣い湛水量を100万m³単位で表すと、淀川BP045が約4900万m³、筑後川BP263が約1300万m³である。

表-1 湛水量算出の検証に用いた浸水シミュレーションデータ（国土交通省）

河川名	淀川	筑後川
破堤点番号 (所在地)	BP045 (大阪府守口市佐太西町)	BP263 (福岡県久留米市太郎原町)
破堤後経過時間	540分 (9時間)	300分 (5時間)
湛水量	約4900万m ³	約1300万m ³

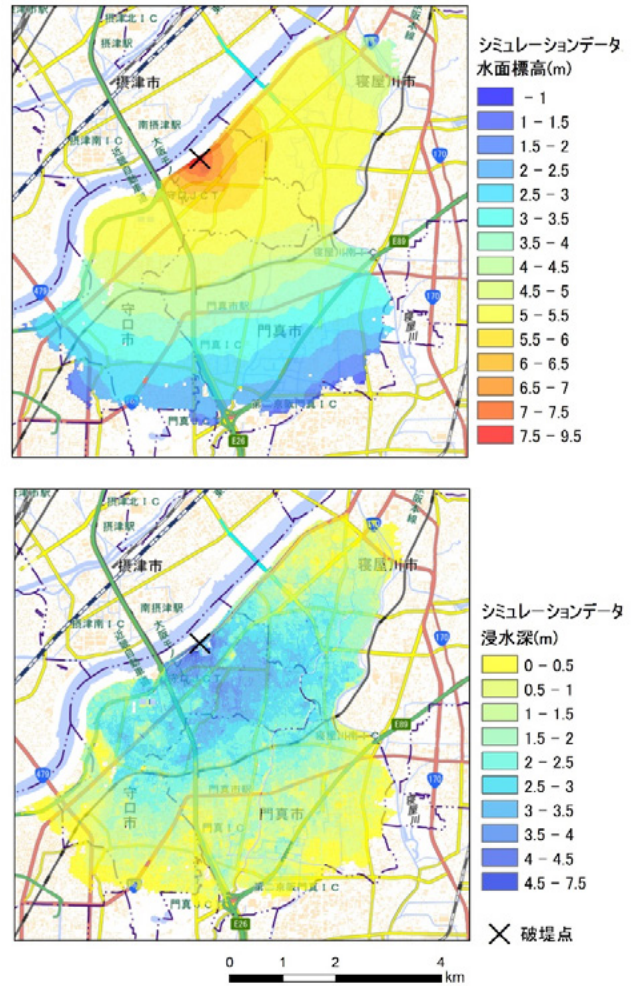


図-1 淀川BP045を元にした5mメッシュ水面標高(上)及び浸水深(下)(補間計算を行っているため、浸水ナビの浸水深と細部は異なる)

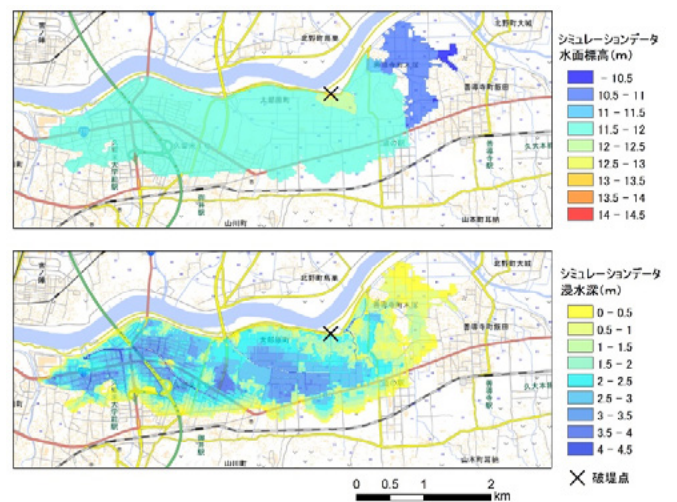


図-2 筑後川BP263を元にした5mメッシュ水面標高(上)及び浸水深(下)(凡例、地図の縮尺は図-1と異なる。補間計算を行っているため、浸水ナビの浸水深と細部は異なる)。

2.2. 複数手法による湛水量の計算

水際を想定したダミーの浸水領域データとして、浸水シミュレーションデータの輪郭にあたる点のみを抽出し、外周点群を作成した。外周点群から水面の標高データを作成後、5mDEMとの差分によって湛水量を計算し、シミュレーションデータ全点による湛水量を再現できるかどうかを調べた。

以下、ある一つの浸水領域において、浸水領域全体の浸水境界が取得できているケースと、浸水領域の一部のみの浸水境界が取得できているケースのそれぞれについて、水面の標高を作成する手法を述べる。

2.2.1 浸水領域全体の浸水境界を取得したケース

まず、浸水領域全体の浸水境界を取得したケースを想定し、外周輪郭上の外周点全点を抽出したデータを作成した。この外周点群から、下記の5つの方法で水面の標高データを作成した。

○静水面だけでなく傾きのある水面も想定し、

(1) 一次傾向面による内挿補間で作成

(2) Natural Neighbor法 (Sibson, 1981)による内挿補間で作成

○静水面のみを想定し、

(3) 水面の標高が外周点群の標高値の平均値である水平面として作成

(4) 水面の標高が外周点群の標高値の最低値である水平面として作成

(5) 水面の標高が外周点群の標高値の中央値である水平面として作成

補間法としてまず一次傾向面を候補とした理由は、無限長の平面として作成する事が可能であり、広範囲の傾向を把握するための補間法として最も多用される手法だからである。Natural Neighbor法については、他の一般的な補間法 (IDW, クリギング, スプライン, TIN) と比較して、距離のある点群からも滑らかな面を生成するという特徴と、面が必ず入力点を通過するという特徴が両立しており、さらに、現在フリーGIS (例えば QGIS の SAGA ツールセット) でも計算可能であり汎用性が高いという長所から選んだ。

2.2.2 浸水領域の一部のみの浸水境界を取得したケース

次に、ある一つの浸水領域の水際の一部地点のみが特定できたケースや、浸水領域の空撮画像がまだ一部しか得られていない段階を想定して、輪郭上の一部の点を抽出したデータを作成した。このケースでは、それぞれサンプリング地区を変えてデータを作成し、計算を行った (表-3)。淀川 BP045 は、北側 (上流) 地区 (表-3①-1)、東側 (中流) 地区 (表-3

①-2)、南側 (下流) 地区 (表-3①-3) の3パターン用意した。このうち北側 (上流) 地区は浸水境界が堤防に接している部分を多く含んでいる。筑後川 BP263 は、東側 (上流) 地区 (表-3②-1)、西側 (下流) 地区 (表-3②-2) の2パターンで計算を行った。筑後川の2地区では、東側地区が破堤点を含んでおり、水面標高のばらつき (標準偏差) が西側地区と比べ値が大きくなっている。東側地区には浸水境界が堤防に接している地域が含まれる。

これらの部分的な外周点群からは、下記の4つの方法で水面の標高データを作成した。

○静水面だけでなく傾きのある水面も想定し、

(1) 一次傾向面による内挿補間で作成

○静水面のみを想定し、

(2) 水面の標高が外周点群の標高値の平均値である水平面として作成

(3) 水面の標高が外周点群の標高値の最低値である水平面として作成

(4) 水面の標高が外周点群の標高値の中央値である水平面として作成

なお傾きのある水面も想定するケースで Natural Neighbor法を外したのは、点で囲まれた領域のみ面を作成するという特徴があり、一部領域の点しかないケースでは水面の作成に利用できないためである。これは TIN 等、他の一般的な補間法でも同じである。

3. 検証結果

3.1 浸水領域全体の浸水境界を取得したケース

本ケースで求めた湛水量及びその再現率を表-2に示す。①淀川 BP045、②筑後川 BP263 いずれのケースでも、Natural Neighbor法による水面を用いた例で、シミュレーションデータ全点から求めた湛水量との差が最小になり、100%に近い高い再現率となる事が分かった。

注意すべき点として、シミュレーションデータは破堤後のある時点のスナップショットであり、地形の状況に応じて多かれ少なかれ動水勾配を持っている。淀川 BP045 ほど動水勾配がない筑後川 BP263 では、Natural Neighbor法以外でも、最低値を用いたケースを除けば90%以上の再現率となっている。筑後川 BP263 の一次傾向面は水平面に近く、このケースでは全体として、水面を外周の平均的な標高を用いた水平面としても近似できることを示している。

一方、水面の歪みが大きい淀川 BP045 では、最低値による水平面では大幅な過小評価となり不適切な他、一次傾向面、平均値、中央値による水平面も、筑後川 BP263 ほど再現率が高くない。これらの中では平均値による水平面が良いと考えられる。

3.2 浸水領域の一部のみの浸水境界を取得したケース

本ケースで求めた湛水量及びその再現率を表-3に示す。まず、外周頂点の標高値の一次傾向面を用いたケースは、静水面に近い筑後川西側地区（表-3②-2）を除いていずれも湛水量の誤差が極めて大きくなり、不適切であることがわかった。水平面を用いたケースでは、淀川北側（上流）地区では過大評価、東側（中流）地区では過少評価、南側（下流）地区では極めて過少評価となった。淀川のような広域で動水勾配を持つケースでは、一部の点を用いて全体を推定するのは難しい事が見て取れるが、特に、破

堤点から下流方向に離れた領域の点を用いた推定は難しいようだ。一方、静水面に近い筑後川西側地区では、このように一部の点のみ用い、水面を水平面としたケースでも高い再現率となっている。

平均値・最低値・中央値のどれが良いのかは、今回検証したデータでは決まった傾向が見えなかったが、表-3の5ケースについて手法毎に再現率の残差二乗和を求めると、平均値の水平面で残差二乗和が最も小さくなった。従って、どのようなケースでも対応できる共通した手法を1つ選ぶ必要があるならば、平均値の水平面を水面標高とすることが妥当と考えられる。

表-2 浸水境界の全点を用いた湛水量の推定結果（浸水領域全体の浸水境界を取得したケースに対応）。湛水量は平均浸水深に浸水面積を乗算して求めた。浸水面積はシミュレーションデータ全点のメッシュ四隅をつないだポリゴンから求め、淀川 BP045 は 29,991,800m²、筑後川 BP263 は 6,859,782 m² として計算した（表-3 と共通）。





①淀川 BP045				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ全点	1.62	48,514,570 (約 4900 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	1.07	32,161,178 (約 3200 万 m ³)	66.3	
(2) 外周点の Natural Neighbor 面	1.62	48,598,785 (約 4900 万 m ³)	100.2	
(3) 外周点の平均値の水平面	1.12	33,530,906 (約 3400 万 m ³)	69.1	
(4) 外周点の最低値の水平面	0.001	18,014 (—)	0.0	
(5) 外周点の中央値の水平面	0.94	28,079,308 (約 2800 万 m ³)	57.9	
②筑後川 BP263				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ全点	1.87	12,844,256 (約 1300 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	1.74	11,924,359 (約 1200 万 m ³)	92.8	
(2) 外周点の Natural Neighbor 面	1.87	12,844,942 (約 1300 万 m ³)	100.0	
(3) 外周点の平均値の水平面	1.69	11,617,729 (約 1200 万 m ³)	90.5	
(4) 外周点の最低値の水平面	0.79	5,393,162 (約 500 万 m ³)	42.0	
(5) 外周点の中央値の水平面	1.92	13,157,068 (約 1300 万 m ³)	102.4	

表-3 浸水境界の一部の点を用いた湛水量の推定結果（浸水領域の一部のみの浸水境界を取得したケースに対応）

①-1 淀川 BP045 北側地区（上流，堤防沿いを含む）				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再 現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ 全点	1.62	48,514,570 (約 4900 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	4.29	128,578,857 (約 12900 万 m ³)	265.0	 水面標高の標準偏差=0.22m × 破堤点
(2) 外周点の平均値の水 平面	2.45	73,446,641 (約 7300 万 m ³)	151.4	
(3) 外周点の最低値の水 平面	1.89	56,736,196 (約 57000 万 m ³)	116.9	
(4) 外周点の中央値の水 平面	2.46	73,905,303 (約 7400 万 m ³)	152.3	
①-2 淀川 BP045 東側地区（中流，堤防沿いを含まない）				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再 現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ 全点	1.62	48,514,570 (約 4900 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	4.41	132,134,614 (約 13200 万 m ³)	272.4	 水面標高の標準偏差=0.55m × 破堤点
(2) 外周点の平均値の水 平面	1.15	34,412,550 (約 3400 万 m ³)	70.9	
(3) 外周点の最低値の水 平面	0.53	15,833,856 (約 1600 万 m ³)	32.6	
(4) 外周点の中央値の水 平面	1.08	32,449,627 (約 3200 万 m ³)	66.9	
①-3 淀川 BP045 南側地区（下流，堤防沿いを含まない）				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再 現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ 全点	1.62	48,514,570 (約 4900 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	7.76	232,749,898 (約 23300 万 m ³)	479.8	 水面標高の標準偏差=0.45m × 破堤点
(2) 外周点の平均値の水 平面	0.10	2,869,836 (約 300 万 m ³)	5.9	
(3) 外周点の最低値の水 平面	0.01	241,806 (—)	0.5	
(4) 外周点の中央値の水 平面	0.14	4,114,324 (約 400 万 m ³)	8.5	
②-1 筑後川 BP263 東側地区（上流，堤防沿いを含み破堤点に近い）				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再 現率 (%)	計算に用いた外周点

シミュレーションデータ 全点	1.87	12,844,256 (約 1300 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	3.01	20,660,292 (約 2100 万 m ³)	160.9	 水面標高の標準偏差=0.60m ×破堤点
(2) 外周点の平均値の水 平面	1.42	9,718,253 (約 1000 万 m ³)	75.7	
(3) 外周点の最低値の水 平面	0.79	5,393,161 (約 500 万 m ³)	42.0	
(4) 外周点の中央値の水 平面	1.14	7,793,400 (約 800 万 m ³)	60.7	
②-2 筑後川 BP263 西側地区 (下流, 堤防沿いを含まず破堤点からも遠い)				
想定した水面	平均浸水深 (m)	湛水量 (m ³)	湛水量の再 現率 (%)	計算に用いた外周点
シミュレーションデータ 全点	1.87	12,844,256 (約 1300 万 m ³)	—	—
(1) 外周点の一次傾向面	1.97	13,512,399 (約 1400 万 m ³)	105.2	 水面標高の標準偏差=0.01m ×破堤点
(2) 外周点の平均値の水 平面	1.91	13,117,962 (約 1300 万 m ³)	102.1	
(3) 外周点の最低値の水 平面	1.90	13,024,668 (約 1300 万 m ³)	101.4	
(4) 外周点の中央値の水 平面	1.91	13,091,210 (約 1300 万 m ³)	101.9	

4. 急斜面との接地等による水面標高の外れ値の修正

シミュレーションデータではなく、人間が地図上に手書きした浸水境界や独立した特定点を湛水量の計算に用いる場合、浸水境界上の浸水深をゼロと考え、境界位置の DEM の標高値を水面標高として湛水量を求める事になる。従って、連続盛土（堤防、道路盛土、田圃の土手等）や山地斜面等の急斜面と浸水域が接しているケースでは、浸水境界の判読・描画の際の位置ずれや DEM の解像度の問題により、水面標高に大きな誤差が発生することが考えられる。例えば、実際の浸水境界は山地斜面の下端にあるのに、浸水領域データの浸水境界は斜面上にある場合や、実際は堤防法面の途中に浸水境界があるのに、DEM の解像度が堤防の幅に対して不十分であることで天端に相当する標高値が水面標高となってしまう場合などである。これらの誤差が湛水量に与える影響は、とても大きなものになると考えられる。このような状況は、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における鬼怒川洪水災害の時に見られ、その際は、水面作成の前に手作業で標高を補正したり、各頂点の 50m 領域（バッファ）内の DEM の中央値を代入して簡易的に標高を補正したりするなどの処理を行った（地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室、2016）。しかし、適切なバッファの範囲はおそらく地

域によって異なっており、さらに、位置ずれ点がほとんどないケースでは、一律なバッファ処理は湛水量の大幅な過小評価につながりかねない。そこで、水面標高の標高値の外れ点を個別に識別できる手法を検討した。

この検討には、平成 30 年 7 月豪雨の際の岡山県倉敷市真備町の浸水状況を、防災ヘリが同年 7 月 8 日に撮影した画像を用いて国土地理院応用地理部が判読したポリゴンデータ（面積 8,829,572m²（約 900ha））を用いた。これは判読が難しい防災ヘリの斜め画像を使い、手動での判読・描画により作成された浸水領域ポリゴンである。

まず、ポリゴンデータの頂点を抽出し、5mDEM から水際の頂点位置の標高値（＝水面標高）を属性として貼り付けた。最初に、水面標高全体の平均値からの偏差を計算し、偏差がある閾値を越えていたら外れ点であると検出することを試みたが、連続盛土に接している点を識別できなかった。全体平均からの偏差は、動水勾配があり水面が傾いているケースでは地域による系統的な傾向も生じ、外れ点の検出には不適切と考えられる。

そこで、ある点の水面標高について、隣接点との移動平均を計算し、移動平均との偏差を求めた。移動平均に用いる点数は 5 点と 3 点で試みた。地形図等と比較したところ、連続盛土や山麓の急斜面上に

プロットされてしまっている点は、このポリゴンデータでは5点の移動平均からの偏差1m程度以上で識別できることがわかった(図-3)。移動平均に使う点数については、3点より5点の方が、エラーの可能性のある点をより多く識別できるうえ、偏差の閾値を下げてより多く識別できる。しかし、移動平均に使う点数をこれ以上増やすと、多数の点がエラーとして除外される可能性があり、外接頂点までエラーとして除外された場合、全体をカバーする水面が内挿補間では作成できなくなってしまう。

ポリゴン頂点位置でDEMから直接抽出した標高を水面標高とし、Natural Neighbor法で作成した水面

から計算したところ、平均浸水深1.97m(最大6.06m)、湛水量17,364,236m³(約1700万m³)であった。一方、移動平均5点での偏差が1m未満の点のみで水面を作成すると、平均浸水深2.02m(最大5.58m)、湛水量17,811,895m³(約1800万m³)となった。判読の時点と同日同時刻の公表値が無いためあくまで参考であるが、7月7日現在の数値として、面積約1200ha、ボリューム約2400万m³という公表値(国土交通省, 2018)があり、その1日後と考えると、少なくともオーダー的には両者とも妥当な数値と考えられ、湛水量は移動平均により外れ値を除外した方が若干公表値に近づいた。

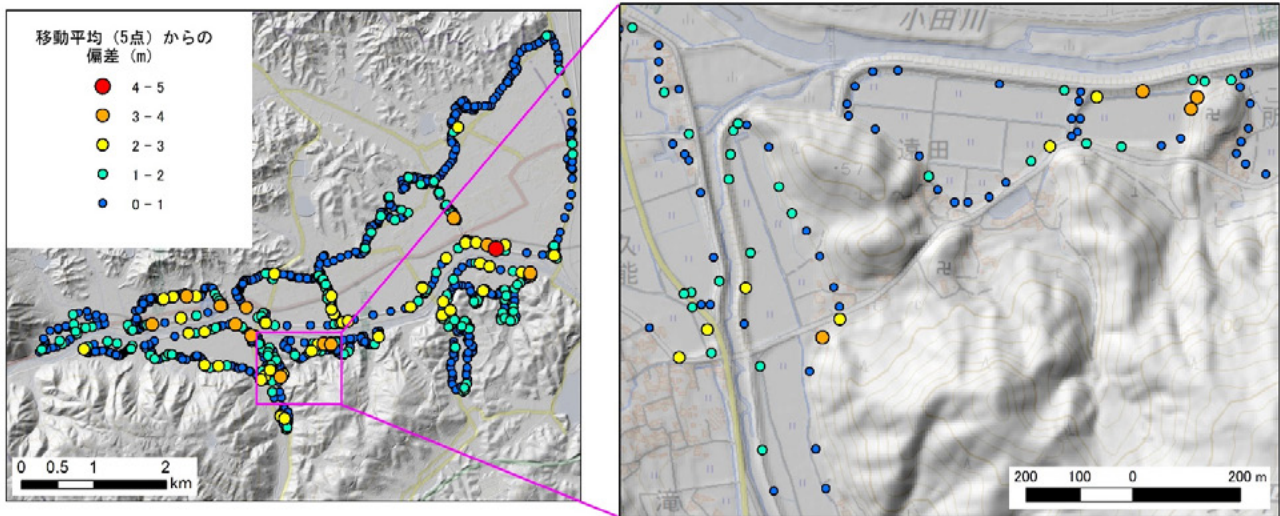


図-3 水面標高の移動平均(5点)からの偏差。実際の災害時の判読による浸水領域ポリゴン(2018年7月8日、国土地理院応用地理部)から頂点を抽出し、5mDEMから標高値を水面標高として付与し、その移動平均(5点)からの偏差を求めたもの。

5. 考察・まとめ

浸水境界の位置情報から湛水量を計算する手法を、シミュレーションデータを元に検討した。浸水領域全体の水際について位置精度の良い点群が得られ、かつ水面に動水勾配が見られる場合は、ポリゴン頂点位置の標高値を水面標高とし、Natural Neighbor法の補間計算による水面作成が最適である。一方、動水勾配が見られず静水面である場合は、標高の平均値の平面でも良い結果が得られると考えられる。また、急斜面との接地等により頂点位置の水面標高の精度に疑問がある場合も、標高の平均値の平面を用いることが良いと考えられる。内挿補間では高さ誤差の影響をそのまま引き継いで面が作られるが、平均値を用いる場合は誤差の相殺が期待できるからである。

浸水境界が一部の偏った領域でしか得られない場合は、動水勾配があるケース、特に破堤点から下流方向に離れた水際点から求めるケースにおいて、湛水量の推定が困難になる事がわかった。ある程度の

推定ができる手法としては、頂点位置の標高の平均値による水平面を水面標高とする事が考えられる。そのようなケースで、動水勾配が見られる水面や標高差のある広い範囲に対応する場合、吉田(2018)のように領域を分ける線(ブレークライン)を設定し、別々の水平面を求めて計算する必要があると考えられる。

手動描画された浸水領域ポリゴンを用いるにあたって、急斜面との接地による誤差を小さくする手法としては、隣接する頂点の水面標高の移動平均からの偏差を用いて外れ値を検出し、除外する事が有効と考えられる。

謝辞

浸水シミュレーションデータは近畿地方整備局淀川河川事務所及び九州地方整備局筑後川河川事務所から提供を受けた。

(公開日: 令和2年6月17日)

参考文献

- 地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室 (2016) : 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害に関する地理地殻活動研究センターの対応, 国土地理院時報, 128, 45-49.
- 国土交通省 (2017) : 洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第 4 版), http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf (accessed 21 February. 2020).
- 国土交通省 (2018) : 倉敷市真備町の浸水を早期に解消します〜TEC-FORCE が排水活動に着手〜 (平成 30 年 7 月 8 日 Press Release.) <http://www.mlit.go.jp/common/001243196.pdf> (accessed 21 February. 2020).
- 国土交通省 : 地点別浸水シミュレーション検索システム (浸水ナビ), <https://suiboumap.gsi.go.jp/> (accessed 21 February. 2020).
- Sibson, R. (1981) : "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation," chapter 2 in *Interpolating Multivariate Data*, New York: John Wiley & Sons, 21-36.
- 吉田一希 (2018) : 平成 30 年 7 月豪雨に伴う高梁川流域と肱川流域の浸水範囲と浸水深分布の確定, 日本リモートセンシング学会誌, 38(5), 422-425.
- 吉田一希 (2019) : 平成 30 年 7 月豪雨における浸水推定段彩図の作成, 国土地理院時報, 132, 17-21.