

研究室 Report

学術の最先端はいま!

地物データ GIS を利用した 都市部における精緻な降雨流出経路のモデル化

寄稿 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 河村 明、天口 英雄

近年においては、局所的に短時間で猛烈な雨が降る“ゲリラ豪雨”が世界各地で発生している。それにより、日本でも都市部において河川やマンホール等からの氾濫による浸水被害等が頻発しているが、ゲリラ豪雨は突発的に積乱雲が発生することによりもたらされるため、予測が難しいとされていた。

そうした中、ICTの急速な進展等により、様々な雨水流出モデルが提案されているが、今号においては、最新のGIS技術を用いて、豪雨の流出経路を物理的に忠実に再現する精緻な洪水流出・氾濫解析モデル（TSRモデル）について紹介する。



都市部におけるゲリラ豪雨の被害を防ぐことが課題となっている

● 都市型洪水流出・氾濫の ● 予測モデル化への挑戦

近年、特に大都市圏の都市流域では、ゲリラ豪雨などの集中豪雨による内水氾濫（マンホールなどからの氾濫）や中小河川からの氾濫により浸水被害が頻発しています。都市流域は山地流域と異なり、地表面は雨水が浸透しない家屋、ビル、道路などの人工物で覆われ、地下には下水道などの雨水排除施設などが網の目のように錯綜し、さらには雨水貯留・浸透施設などの流出抑制施設や治水施設も整備されています。このような都市流域においては、集中豪雨による洪水流出・氾濫を精度良く予測することが、行政サイドや市民から切望されています。

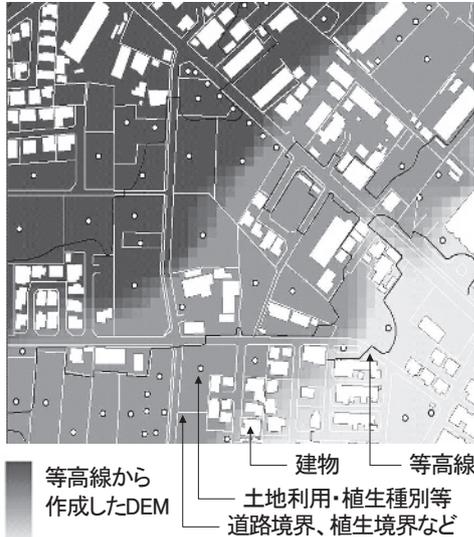
都市流域の降雨流出についての研究は国内外問わず数多く行われ、近年では、GIS技術の発展やPCの処理能力の向上により、雨水流出の数値モデルが

数多く提案されています。この場合、入手可能なデータが限られていることやモデル構築の簡便さから、流域をグリッド型（格子状）に分割し、その領域内の不浸透・浸透特性により流出率を設定して表面雨水流出を解析するグリッド型モデルが主流となっています。しかしながら、グリッド型モデルはグリッド内を均一表面として取り扱うため、個々の地表面地物（独立したビルや家屋、道路、駐車場など）の情報は考慮されず、また、雨水流出で重要な役割を果たすマンホール・下水道管路がどの地表面地物と正確に接続されているかということも表現できず、グリッド型を用いて都市流域をモデル表現することに限界を感じていました。

そこで、都市流域のモデル化に際して着目したのが、1/2500地形図（図-1）を用いることでした。本データは道路及び建物の他に、植生、耕地、公園、駐車場など洪水流出解析に欠かせない浸透・不浸透



図-1 1/2500地形図データの例



域に関する情報が記録されています。GIS技術を用いて、1/2500地形図上の地表面地物をそのまま（とりあえず手作業で）抽出してデータベース化し、さらにマンホール・下水道管路のデータも（とりあえず下水道台帳から手作業で）取り込み、地表面地物との接続情報をデータベース化することにより、新たな地物ごとに豪雨の流出経路を物理的に忠実に再現する精緻な洪水流出・氾濫解析モデルを構築しました。そして、私たちはこのモデルを、「首都圏東京のような密集市街地での洪水氾濫をシミュレートするためのモデル」という思いを込めて、TSR (Tokyo Storm Runoff) モデルと名付けました。

TSRモデルでは、不浸透域面積を正確に表現できるだけでなく、総合治水対策で各戸に設置される雨水流出抑制施設や個々の道路の透水性舗装整備なども、モデルとの対応関係が明確に設定できるなど、数々の長所が見い出されます。そして、大まかな洪水氾濫地域予測ではなく、地物単位での詳細な浸水氾濫予測が可能となりました。

- 本研究における
- GISのシステムについて

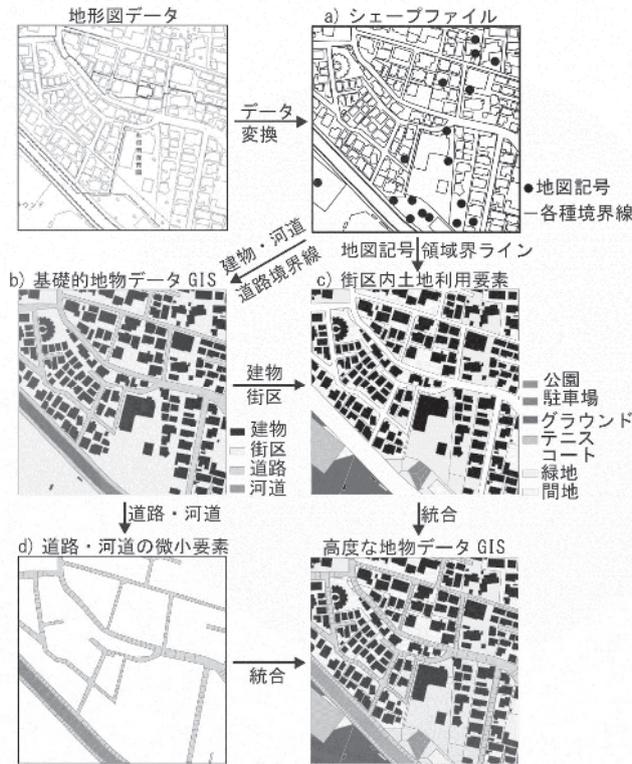
TSRモデルを都市流域に適用する際のフローとし

ては、まず対象都市流域の基礎的地物データGIS（1/2500地形図データ）の収集・加工を行い、このデータに土地利用種別に関する情報を加え、対象都市流域全体を土地利用種別ごとにさらに小さく分割することで、高度な地物データGISを構築します。次いで、この高度な地物データGISから街区内の地物、道路及び河道を抽出し、さらに、マンホール・下水道管路などの地下地物要素を加えて都市流域のモデル化を行います。そして、地物間の雨水流出過程を表現する水理・水文モデルを組み込むことでTSRモデルを構築します。次に、モデルパラメータと初期値を設定し、対象降雨を入力して洪水流出解析を実行した後、すべての地物で流出量分布の結果を出力できるようになっています。

高度な地物データGISを1/2500地形図データから効率よく築き上げるため、図-2に示す専用のシステムを開発しています。その手順は、a) 地形図データの変換、b) 基礎的地物データGISの準備、c) 街区内土地利用要素の構築、d) 道路・河道要素の分割です。図-3には、TSRモデルが対象とする洪水流出過程を示しています。流域内への降雨を土地利用地物要素に与え、個々に設定した浸透・不浸透特性に関する情報を基に、浸透しきれない雨水は近傍の道路へ流出させ、道路からはマンホール・下水道管路に流下させます。

マンホール・下水道管路要素では、まずマンホール部において道路との流入出量及び接続管路からの流入出量により水位を算出し、次いでマンホール部の水位と管路断面特性から流量を計算します。この計算過程において、マンホール内の水位が上昇して道路の地盤高にまで達すると、マンホール内の水は道路上に溢水することになります。溢水した水は、道路を流下し流下能力に余裕のあるマンホールの存在する道路において再びマンホール・下水道管路に流れ込みます。このようにして、下水道管路内の水は数々の管路網内の水を合流して最終的には河道に流出し、流域外へと流去することになります。浸水

図-2 高度な地物データGISの構築手順



解析においては、土地利用地物要素からの流出量と下水道管路のマンホールを介した溢水量により、道路水位が周囲の地盤高以上となると水は宅地内等流れ込み、道路上の水位が低下すると宅地内の水は道路に流出するという計算を行っています。

● ● ● **TSRモデルによる計算例**

図-4に、地物データGISにより東京都内の代表的都市中小河川である神田川上流域（流域面積11.5km²）をモデル化した例を示しています。対象流域の地表面地物要素の数は約10万4千で20の土地利用種別に分類され、マンホール・下水道管路要素の数は約20万あります。また同図には、対象流域の一部を拡大した図を示しています。形状がグリッドではなく、各地物が明確に区分されています。見た目では1/2500地形図とあまり変わりませんが、道路や河道そして街区内が分割され、

図-3 TSRモデルの洪水流出過程

TSR (Tokyo Storm Runoff) モデルの概要





図-4 地物データGISによる神田川上流域のモデル化

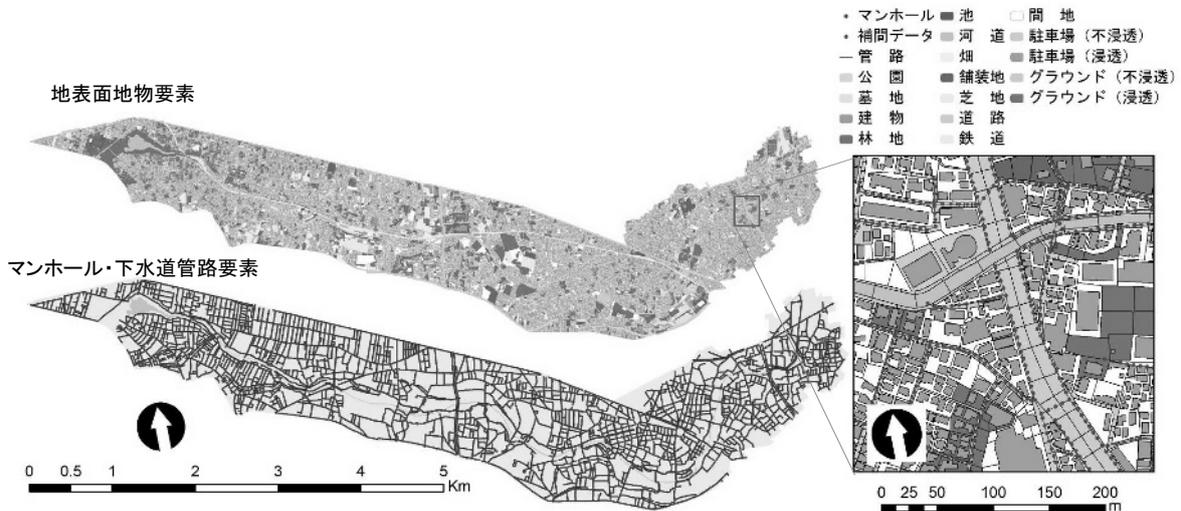
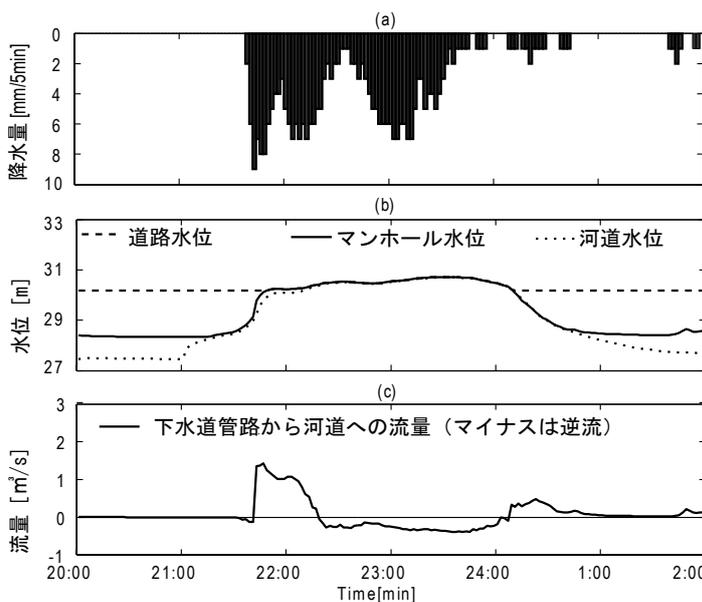


図-5 TSRモデルの計算結果の一例



下水道管路から河道への流量が増加していることがわかります。また、22:30からの90分間は、河道水位がマンホール水位よりも若干高い状態が継続しているため、河道から下水道管路へ逆流する状況がうまく再現されています。

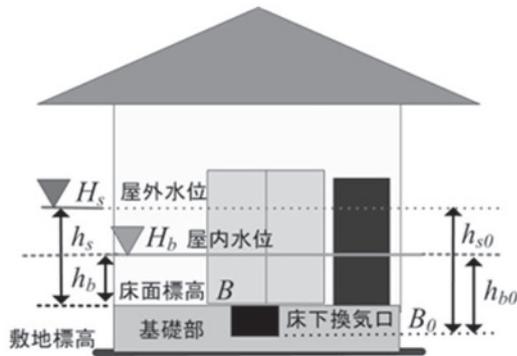
さて、都市流域における家屋浸水被害対策の現状は様々ですが、浸水発生時には、建物の耐水化や浸水防護壁により雨水の浸入を防止しなければ、雨水は床下、ドア、窓などから建物内に徐々に浸水してしまいます。地物データGISの建物要素を活用して、図-6に示

洪水流出解析に必要な様々なGIS属性が個別に設定されています。

ここでは、下水道管路から河道に流出する地点に着目して、図-5(a)の降雨を対象としたTSRモデルによる洪水流出解析結果の一例を示します。図-5(b)に、その対象河道とこれに隣接する道路及びマンホールの水位、図-5(c)には河道に排水される流出量を示します。これにより降雨開始直後に河道とマンホール水位がともに急上昇するとともに、

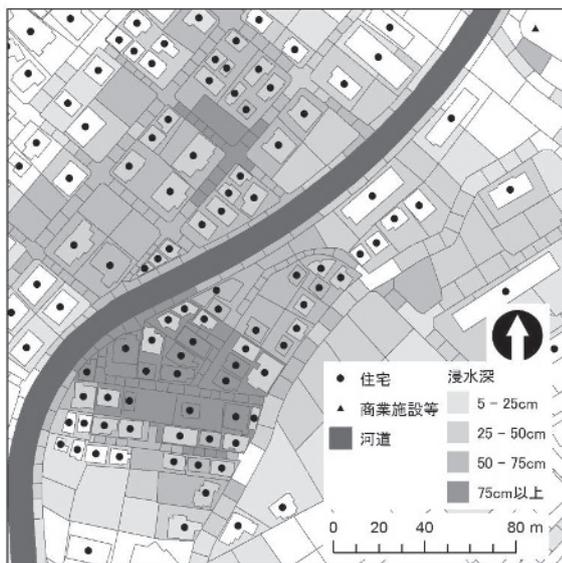
すように建物の敷地標高、床面標高などの値を個々に設定し、TSRモデルでの浸水解析に若干の修正を加えれば、図-7に示すように建物内外の浸水状況をシミュレートすることも可能となります。このように雨水の流出過程を精緻に再現した地物データGISを用いることにより、豪雨浸水被害に対するきめ細かな減災対策として、個々の建物の浸水特性を考慮した様々なシナリオ分析が可能となります。

図-6 建物の条件設定



h_b : 浸水深
 Q_{b0} : 換気口からの浸入量,
 Q_b : 床上からの浸入量
 α_0 : 床下浸入率, α : 床上浸入率
 L : 建物外周延長, A_b : 屋根面積

図-7 浸水解析結果の一例



● 今後の展望

近年、都市化の進展により、緑地や裸地などの浸透域が激減し、雨水の地下水涵養量の低減による地下水位低下、湧水量減少、河川の平常時流量の減少など、雨水の水循環に関わる問題が多く発生してい

ます。地物データ GISを活用した精緻な降雨流出経路のモデル化を用いることにより、今後の健全な水循環のための都市流域水循環シミュレーションが正確に行えれば、公共事業や都市開発の効率化にもつながると考えられます。

例えば、現在、洪水流出抑制及び地下水涵養・水資源有効利用のための雨水浸透貯留施設（雨水貯留タンク、浸透ます、浸透トレンチ、透水性舗装など）が個々に設置されていますが、これらは将来増加が予想されています。この場合、雨水浸透貯留施設の様々な個別設置シナリオを想定して、TSRモデルによる洪水流出抑制効果シミュレーションのみならず、地物データ GISを活用した地下水涵養シミュレーションも可能となります。これにより、都市中小河川の水枯れ問題対策も含めた、効率的な対策も見い出せると考えています。

さらに、現在、大都市ではヒートアイランド緩和策の推進が急務となっていますが、地表面地物要素ごとのヒートアイランド緩和策（例えば、屋上緑化や保水性舗装など）を適切に評価すると同時に、それが都市流域全体に及ぼす影響を評価することが求められています。この場合の評価手法として、地物データ GISを利用した地表面地物要素ごとの蒸発散量・熱収支モデルを開発することも可能となります。

地物データ GISの利用に関して、現在最大の障害となっているのは、高度な地物データ GISを構築するのに、かなりの部分を手作業で作成しなければならず構築に手間と時間がかかることが挙げられます。例えば、道路の適正分割や街区内地物の土地利用種別分割などが挙げられますが、これらを自動で分割しポリゴン化するアルゴリズムが節に求められています。このため、現在高度な地物データ GISの自動構築に関する研究も平行して行っているところです。

最後に、下水道管網など都市インフラに関する GISデータベースが自治体などから容易に入手可能となることを望んでいます。