

道路網を活用した都市域の雨水流出網の作成手法

松浦玲子*・中根和郎*

Development of the Rainfall-runoff Networks Made from the Road Networks

Reiko MATSUURA and Kazuro NAKANE

*Disaster Prevention Research Group,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
reiko05@bosai.go.jp, nakane@bosai.go.jp*

Abstract

Heavy rain can cause severe flooding, even in urban areas, because of drastic global environmental changes, widespread urbanization, and changes in our lifestyles. In urban areas the damage that flooding causes, not only to properties but also to people, is immeasurable. It would be possible to mitigate this damage if we could give city dwellers and community organizations advance information on the area and degree of danger, evacuation routes, and refuge areas.

To predict flood damage we need to obtain information about drainage from administrative organizations, but there are various obstacles to obtaining such information. Furthermore, to obtain accurate real-time information on a flood situation we need detailed data that are readily available. In light of these needs, we developed a technique of building rainwater flow networks with minimal labor. This new technique makes it possible for rain information gathered by radar to automatically generate detailed rain input data at every collection point to forecast the likely damage from a flood.

Key words : Flood, Urban areas, Disaster mitigation, Rainwater -runoff running networks, Minimal labor

1. はじめに

近年、各地の都市域で時間雨量 100mm を越える豪雨が降っており、それらは地域の雨水排水能力を大きく上回っているため、各地で浸水被害が発生している。特に北九州の博多や東京の西新宿では地下室が水没し、人が閉じ込められて溺死する事故が発生している。その他、ふたの開いた側溝やマンホールに足を取られてけがをしたとか、道路のアンダーパス部や凹地部が一時的に深く湛水し、車が立ち往生する被害も出ている。これらの中には悪条件が重ならなかつたために幸いにも被害が少なく済んだケースも多くあったと想像される。低平な都市域では標高差も少なく、道路や水路等の線状構造物が氾濫水の挙動に大きく影響する。そこで、筆者らは、道路網と下水道網を一体とした、高分解能の実時間浸水被害予測手法の開発を行なった。

この手法において、道路と下水道の接続点のマンホールに、その周辺に降る雨水を流入させる必要があった。この時、雨水を流入させるマンホールの数が少なけれ

ば、人力により、図面上で標高データとマンホールの位置を確認しながら、当該マンホールに流入する雨水の集水領域を確定し、リアルタイムのレーダ雨量情報からその領域に降る平均雨量を求めて、そのマンホールに流入させるということも可能であるが、10 m × 10 m の高分解能の被害予測シミュレーションの場合、マンホールの数が非常に多くなり、人力では多大な労力と時間を要する困難な作業となる。そこで、筆者らが開発した 0.5 度または 0.1 度分解能の広域水収支モデル (中根, 2001)¹⁾ を応用することとした。このモデルでは、各格子領域に降る雨を領域流出モデルに流入し、そこからの流出量を近傍の河川網に流入させ、それらを河川網に沿って上流から下流に向けて合流させながら、河口まで河川各地点の流量を計算する。この手法では、領域流出モデルは多段階のタンクモデルを用い、河川網は、一段タンクモデルを連結した擬似河川網モデルを用いている。この手法を都市域の詳細な被害予測に応用するには、ループのないツリー構造を持つ、高分解能な都市域の雨水集水網モデ

*独立行政法人 防災科学技術研究所 総合防災研究部門

ルが必要となる。目的が前述したように道路網上の任意地点のマンホールに集水する雨水量を計算することから、都市域の雨水集水網として既存のデジタル道路網を使用するのが最も効率的な方法と思われた。道路網を雨水集水網として活用するためには、都市域の道路網が持つ多くのループを切断し、ループのないツリー構造を持つ道路網に変換する技術が必要であり、本研究では既存のデジタル道路網から自動的にツリー構造を持つ道路網に変換する新しい技術を開発した。この技術の開発により、既存の広域水収支モデルを応用して、道路網と下水道網を一体とした実時間の浸水被害予測に必要な、詳細な道路網の各地点の入力雨量を、レーダ雨量情報から容易に自動生成することが可能となる。

2. 雨水流出網の作成手法

きめの細かい危険情報を提供するためには、使用するデータもそれに適した精度でなければならない。そこで、本手法は、流れの途中で周回のない、分解能 10m メッシュからなる雨水流出網を作成することを目的とした。雨水は基本的には、標高の高い所から低い所へ流れる。道路網のデータは道路の持つ特性上、途中で途切れていたら用をなさない多くのループ状の道路から構成されている。道路網を雨水流出網とするためには、これら周回箇所を標高の一番高い箇所まで切断して周回箇所をなくしてツリー構造にし、雨水を高標高部から低標高部へ流れるようにする必要がある。この切断を半自動的にしない雨水流出網を作成するのが本手法である。

使用するデータは次の 2 種類である。

①道路の周回箇所切断の判断基準となる 10m メッシュ平均標高データ（以後、標高データと言う）

②雨水流出網の基本となる道路網データ

①の標高データの基本となるデータとして、縮尺 1:2,500 精度の東京都デジタルマッピング地形図 (23 区) の等高線データを使用した。まず Windows 上でシェープファイルを作成する。東京都デジタルマッピング地形図データから対象領域の等高線データを、市販の変換ソフト「数値地図データ変換ツール」でシェープファイルに変換する。それを OS が UNIX のリモートセンシング解析処理システムへ転送し、画像解析ソフト ERDAS imagine (以後 imagine とする) へインポートして、imagine の内挿機能により標高データを 2次元のラスターデータとして生成する。この標高データを imagine の機能により、1レコードが (経度、緯度、標高) からなるテキストデータとしてファイルに出力する。更にプログラムによりマトリックス形式の標高データに変換する。

②の道路網の基本となるデータとして、北海道地図 (株) が出している GISMAP 25000V の線データを使用した。これは、座標系が 19 座標系の第 9 系 (平面直角座標系はある特定の狭い範囲では地球の球面の状態を無視し、水平と仮定して定めた座標系である。日本は 19 個の座標系からなり、関東平野は第 9 系を用いる)、縮尺 1:25,000 のシェープファイル形式データである。本手法で使用する

道路網の線データは GISMAP25000V の 2 次メッシュコード; 533935 で示される範囲に含まれる。この線データを imagine により、属性がシェープファイルのベクターデータとして表示する。これを imagine の機能を使い、ベクターデータからラスターデータへ変換する。このラスターデータをプログラムにより編集して、詳細な道路網データを作成する。

2.1 標高データの作成手順

＜Windows パーソナル計算機上での作業＞

①本手法開発にあたり選んだ領域 (19 座標系の第 9 系で表すと、左上隅の座標: (-22000, -34500), 右下隅の座標: (-6000, -48000)) を完全に含む複数の図郭を選択して、市販の変換ソフト「数値地図データ変換ツール」を用いて等高線のシェープファイルを作成する。等高線を示すコードは 7102 である。

②属性数値を取り出す項目にチェックを入れフィールド (半角アルファベット) 名を入力する。投影情報の系を 9 とし、シェープファイルの出力先フォルダを入力し、変換を行なう。これによりシェープファイルが作成される。拡張子が shp のシェープファイル以外に、他の dbf, prj, shx の各ファイルも同時に作成される。

③拡張子が shp のシェープファイルと、他の dbf, prj, shx の各ファイルを、ftp により OS が UNIX であるリモートセンシング解析処理システムへ転送する。拡張子 dbf, prj のファイルはアスキーモードで、拡張子 shp, shx のファイルはバイナリーモードで転送される。

＜UNIX ワークステーション上での作業＞

④ imagine を起動して、メインメニューから DataPrep を選択し、更に、Create Surface... を選択する。ここで、上記③で転送したシェープファイルを読み込む。その後、内挿モードにして、本手法の分解能である 10m メッシュの標高データを作成する。

⑤ imagine の機能で 1レコードが (経度、緯度、標高) からなるテキストデータとしてファイルに出力する。このときの (経度、緯度) は 19 座標系の第 9 系である。

⑥⑤の標高データをプログラムでマトリックス形式に変換する。

以上①～⑥の作業により周回道路網を切断するときの判断基準となる標高データを作成することができる。

2.2 雨水流出網データの作成手順

＜Windows パーソナル計算機上での作業＞

① ftp コマンドで、北海道地図 (株) が出している GISMAP 25000V の線データを、OS が UNIX のリモートセンシング解析処理システムへ転送する。この線データは、座標系が 19 座標系の第 9 系で、縮尺 1:25,000 のシェープファイル形式データである。対象領域 (19 座標系の第 9 系で、左上隅の座標: (-10920, -40700), 右下隅の座標: (-8320, -44330)) は、2 次メッシュコード; 533935 で示される範囲に含まれる。

＜UNIX ワークステーション上での作業＞

②上記①の線データを、imagine により属性がシェープファイルのベクターデータとして表示する (図 1)。これ

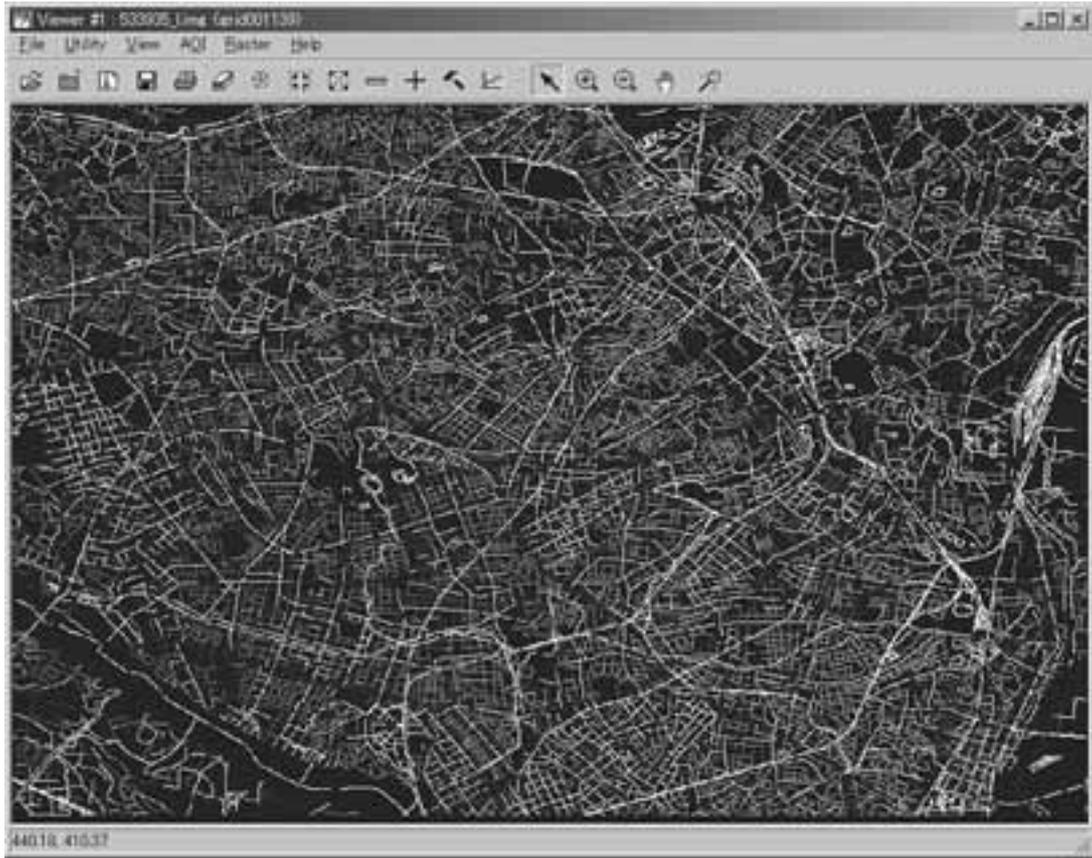


図1 北海道地図（株）GISMAP25000V の品川区、目黒区の道路網図

Fig. 1 Road networks in the suburbs of Shinagawa and Meguro, Tokyo. Data are from GISMAP25000V, Hokkaidouchizu Inc..

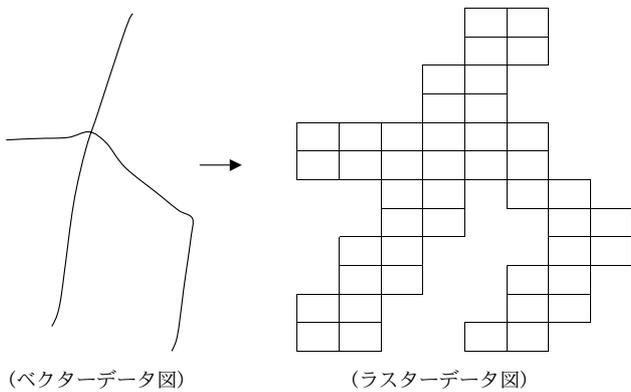


図2 GISMAP25000V の道路網ベクトルデータから作成した 10m 分解能の道路網ラスターデータ概念図

Fig. 2 Conceptual road networks of raster data, made from road network vector data supplied by GISMAP25000V.

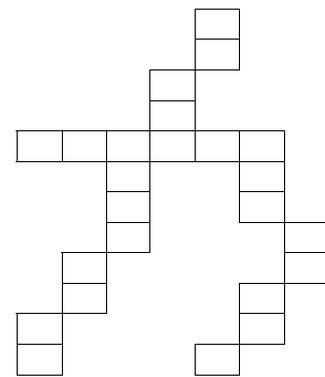


図3 線画化処理により線画化した 10m 分解能の道路網ラスターデータ概念図

Fig. 3 Conceptual road networks after processing by the program, which has converted broad line data to narrow.

を imagine の機能を使い、ベクターデータからラスターデータへ変換する。

③道路の幅が複数のメッシュからなる道路網を、1メッシュの連続した線画になるように、当研究所で開発した線画化プログラム（特許、298287号）で編集する。

ベクターデータからラスターデータへ変換した直後のデータの例の概念図を図2に示す。

また図3に図2のラスターデータを前述のプログラムで線画化した道路網の図を示す。

④道路の周回箇所をプログラムで切断する。

周回箇所があるかどうかを検査するために、対象領域をある大きさの検査窓で走査する。走査は次のように行なう。対象領域の左上隅から右に動き、検査窓が右端に達したならば左端まで戻り、1メッシュ下げて、再度検査窓を走査する。検査窓内の検査により周回箇所が見つかったならば、交差点のメッシュを避けて周回を起こしている経路内で標高が一番高いメッシュで切断する。同様の手法で検査窓を少し広げて再度検査窓を走査する。これを指定回数分繰り返す。この作業で仮に図4に示す交差点のメッシュを切断すると、一部分の道路経路が孤立する可能性があるので注意が必要である。

＜プログラムのアルゴリズム＞

ア) 規定の検査窓を左上隅から経度方向(図の右方向)へ1メッシュずつ移動させる。領域の右端に到達したならば左端に戻り、1メッシュ緯度方向(図の下方向)へ下げて経度方向(図の右方向)へ1メッシュずつ移動させる。この動きを繰り返し、検査窓に入る道路網に周回がある

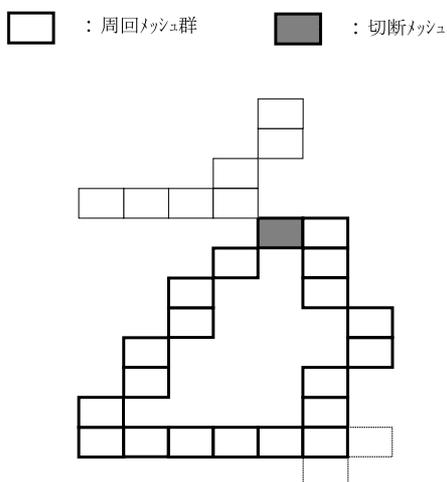


図4 線画化ラスタ図に存在する道路の周回箇所概念図
Fig. 4 The general concept of the loop-road network.

かを調べる。全ての領域を検査したならば、検査窓を少し大きくして再度検査する。これを指定した検査回数だけ繰り返す。

イ) 周回がある場合は次の方法で切断する。

周回状の道路の1例を図6, 7に示す。図6の破線が周回状の道路を示し、A, B, C, D, Eは道路の交差点である。

- ・周回上のメッシュ数が8以下の時は、この中で標高の一番高いメッシュを切断メッシュとする。ただしそのメッシュが交差点(A, B, C, D, E)であったならば、2番目に標高の高いメッシュを切断メッシュとする。

- ・メッシュ数が8より大きい時は5メッシュ毎に移動平均を計算して、その値の最高値のグループの中央のメッシュを切断メッシュとする。ただしそのメッシュが交差点(A, B, C, D, E)であったならば、同じグループの中で、図8に示す優先順位で切断メッシュを決める。

⑤目視により検査するために、④で作成した周回を切断した道路網データを imagine ヘインポートして表示する。

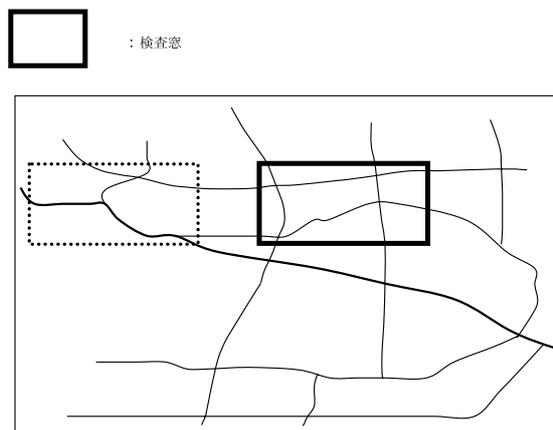


図5 検査窓を用いた道路の周回箇所の検出状況概念図
Fig. 5 Method of using the checking window to find loop-road networks.

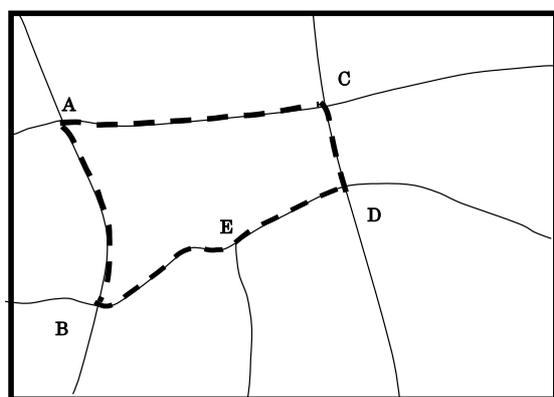


図6 検出された周回状の道路の概念図。A, B, C, D, Eは道路交差点位置
Fig. 6 Loop-road networks found in a checking window. A, B, C, D, and E are road intersections.

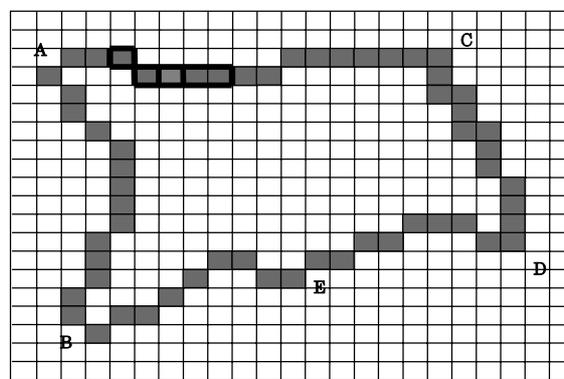


図7 周回状の道路における切断メッシュの検出状況
Fig. 7 Concept of surveying the cut-off road mesh on the loop road networks.

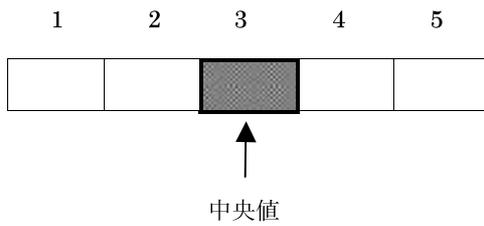


図 8 切断メッシュの優先順位
Fig. 8 The priority of cutting mesh.

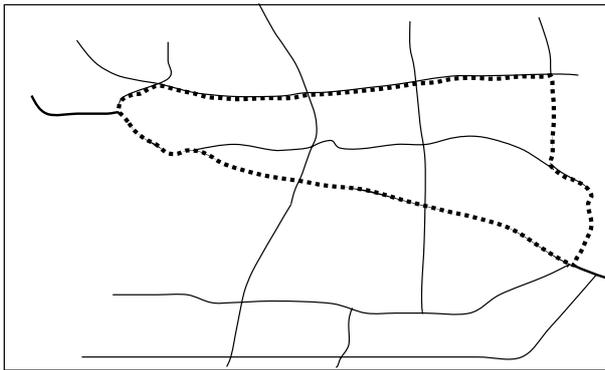


図 9 大きな検査窓を用いた大きな周回道路の検出概念図
Fig. 9 Concept of using a large-scale checking window to detect a large loop-road network.

⑥⑤で作成した図を目視により検査して、切断するメッシュの座標（経度方向のメッシュ番号，緯度方向のメッシュ番号）を，*imagine* の持っている座標読み取り機能により確認して，その座標値をファイルへ書き出す。検査窓で全領域を走査し周回箇所を切断しても，広い領域に目を向けると，そこで大きな周回を発見することがある（図 9 の破線のような周回）。このような周回のあるなしを目視で調べ，切断するメッシュを読み取る。また，③で切断したメッシュの中には，全体の流れから判断して，不適切な切断もある。それをも同時に検査する。

⑦⑥で書き出した（経度，緯度）のメッシュの値を基に，プログラムで，周回箇所を編集する。

⑧⑦で作成した周回箇所を編集した道路網データの各メッシュに，網ベクトルデータ作成手法（特許，298287 号）により，上流から番号を付ける。

この番号付けの段階で道路網が整備されていないと，途中で停止してしまう。この状況が起こったならば，再度⑤の道路網の検査から行なう。

3. 雨水流出網の作成結果と考察

2.1 に述べた手法により，図 10 の道路網データを作成する。次に，図 11 の線画化した道路網データを作成する。最後にその道路網データの周回箇所を切断することにより，図 12 のツリー構造にした，道路網データを基にした



図 10 実証試験区域における GISMAP25000V の道路網ラスタデータ図

Fig. 10 Road networks of raster data, made from using GISMAP25000V in the test area.



図 11 実証試験区域における線画化した道路網図
Fig. 11 Processed narrow line networks in the test area.



図 12 周回道路部切断により得られた実証試験区域における周回道路のない線画化道路網

Fig. 12 Processed narrow line networks with no loops in the test area.

雨水流出網データが作成される。

3.1 標高データについての考察

本手法では、道路網の周回箇所を切断するための判断基準として標高データを使用している。標高データの基本となるデータとして、縮尺1:2,500の東京都デジタルマッピング地形図(23区)の等高線データを使用した。このデータを内挿して10mメッシュ平均標高を求めていたために、精度に疑問が残る。この手法では周回箇所を切断するために、周回上の10mメッシュの平均標高の最大値のメッシュを抽出しているが、標高差の小さい都市域の低平地では標高値の精度の問題もあって、時として不適切なメッシュを選択するという現象が起こる。現時点ではこのような場合は人為的判断により周回箇所の切断を行なっているが、精度の良い標高データが得られたならば、強制的に周回箇所を編集するという作業量は減らせると考える。

3.2 雨水流出網データについての考察

下水道網データの入手の困難さ、更に、全ての雨水流出網データを手入力する労力を考えると、この手法による作業の効率化による作業時間軽減への寄与度は大きい。しかし、最終的には目視での検査が必要である。現状での本手法の検査に費やすエネルギーはやや大きい。容易に周回箇所を発見できる方法を加味することができたならば、この手法の威力は増すものと考えられる。

4. まとめ

技術革新の速さは我々の生活環境を大きく変えつつある。今まで経験したことのない都市災害に見舞われるという現状にあり、それへの対応の素早さが要求される。都市域での水害もその一つである。被害を最小限におさえるためには、スピーディーで的確な予測が求められる。従来、この種の予測を行なうための手法は、手作業に頼るところ大であった。本手法は人海戦術的な作業を極力押さえ、既存のデータを生かし、いかに素早く広域の雨水流出網データを作成するかに応えようとしたものである。本論文では雨水流出網の基本データは、我々の生活の中で入手が容易である道路網データを使っている。道路網を、雨水が一定方向に流れる流出網にそのまま転用することは難しい。本手法を介在させて道路の周回箇所を標高の高い箇所切断することによりそれは実現できる。

参考文献

- 1) 中根和郎(2001):大陸規模の水文のための広域水収支モデル. 防災科学技術研究所「全球水文過程における災害予測に関する研究」研究成果報告書, 73-87.

(原稿受理:2004年4月26日)

要 旨

地球規模での環境の変化、各地での都市化、生活様式の変貌などにより、それまで考えられなかった都市域でも、豪雨による浸水という現象が生ずるようになった。それに伴う都市域での被害は、物的に留まらず人的にも計り知れない。出水時の浸水状況をあらかじめ的確に予測して、危険箇所・危険の度合い・避難経路・避難施設などを、行政・地域住民・関係施設などに知らせることができたならば、被害を最小限に抑えることができるであろう。

本手法は、出水時の浸水状況を的確に予測するための雨水の流出経路を、できる限り人の手を介在させないで作成するものである。浸水状況を予測するためには、対象地域の行政機関から下水道網の情報を得る必要がある。しかし、さまざまな理由によりそう容易なことではない。更に、狭い領域毎のきめ細かな危険予測を行なうためには、それに応ずることができ、尚且つ入手容易で詳細な情報を使いたい。そこで、道路網を雨水流出経路とみなす本手法を開発した。この新しい手法の開発により、道路網及び下水道網を一体とした実時間の浸水被害予測に必要な、詳細な道路網の各地点の入力雨量データを、レーダ雨量情報から容易に自動生成することが可能となる。

キーワード：浸水，都市域，災害軽減，雨水流出網，半自動