

論文

都市水害に起因する道路交通 障害について—京都市域を対 象として—

深草 新*・戸田 圭一**・宇野 伸宏*

Study on Traffic Difficulties Caused by Urban Flood Inundation —Example of Kyoto City—

Shin FUKAKUSA*, Keiichi TODA**
and Nobuhiro UNO*

Abstract

This study treats the degree and characteristics of traffic difficulties caused by urban flood inundation. The studied area is Kyoto City, Japan. First, in the normal condition, traffic assignment is performed and traffic density is computed. Next, assuming the overflow from the river, inundation flow analysis is executed to obtain the inundation depth distribution. The similar traffic analysis is performed in the inundation condition, by changing run speed and traffic capacity based on the computed inundation depth of each link. Then, a degree of congestion and lead time between two spots are compared and discussed for the normal condition and the inundation one. As a result, it is found that inundation in the south part of city, especially along National highway No.1, has huge effect on the traffic network of all over the city.

キーワード：都市水害，氾濫解析，浸水深，交通量配分，混雑度

Key words : urban flood, inundation flow analysis, inundation depth, traffic assignment, degree of congestion

1. はじめに

わが国の主要都市では，道路や鉄道が網の目のように走っており，多くの人々が毎日当たり前のよう

に利用している。近畿圏に絞って見ても，大阪市・神戸市・京都市といった人口や資産が集中した大都市ではそれは極めて顕著である。大阪市では東西・南北に市営地下鉄等が幾本も走っており，神戸市では東西にJR線や私鉄各線が並走し

* 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
Department of Urban Management, Graduate School of
Engineering, Kyoto University

** 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
本論文に対する討論は平成20年2月末日まで受け付ける。

ている。また京都市ではJR線・私鉄各線・市営地下鉄などが乗り入れている。しかしこれらの都市でも、鉄道では目的地へ向かうのにかなりの遠回りを強いられるような場合があり、鉄道だけでは市内の移動はカバーしきれず、バスを含む自動車への依存度は高いと言える。

近年、都市水害時には浸水による道路交通への被害が数多く報告されるようになっており、特に大都市では被害がより甚大になることが予想される。実際、1989(平成元)年9月14日に兵庫県南東部で発生した豪雨¹⁾では、西宮市で最大112mmの時間雨量を観測し、国道2号・国道171号など幹線道路の浸水が阪神間の通勤・通学に多大な影響を及ぼした。

水害時の交通障害に関する従来の研究では、加賀屋ら²⁾は、札幌市東北部を走る主要幹線を対象ネットワークとし、非浸水時と浸水時それぞれについて配分計算を行った上で、ネットワーク交通容量を比較することで水害の道路交通に及ぼす影響について議論している。また、交通対策を施すべき箇所についても解析結果をもとに考察している。浸水時の条件として、彼らは、豊平川流域の内水氾濫シミュレーションの結果^{3,4)}から水深が20cm以上となるリンクを途絶させた状態のネットワークを用いている。

本研究は、氾濫解析で得られる浸水深の時空間分布を基に、都市で水害が発生したことで、平常時に生じているODのうちどれくらいの交通量が浸水の影響を受けて平常時と異なってくるのかを検討することにより、交通障害の程度を議論することを試みたものである。水害時に河川から溢れた水の挙動と道路交通の混乱箇所との関係に注目し、京都市を対象とした数ケースの浸水解析により市内の浸水深をそれぞれ求め、道路リンクの浸水深に応じて走行速度・交通容量を変化させるかたちで交通量の配分計算を行う。そして、浸水時の道路交通障害について、混雑度や所要時間を比較することで考察することとする。なおここでは、浸水時でも平常時と同じOD関係を仮定し、また災害情報による外出の見合わせ等、交通需要の発生に関わる不確定要素の多い項目については

考慮しないこととする。また、ある一時刻の浸水状況を静的なものと仮定し、その浸水状況に応じた日交通量配分を行い、道路ネットワークの耐浸水性について議論することとする。

なお、京都市を対象としたのは、1935(昭和10)年に鴨川などの河川からの溢水による大洪水が起きており、戸田ら⁵⁾の研究をはじめ、浸水状況のシミュレーションにより改めて市内の浸水の危険性が示されているためである。

2. 解析手法と計算条件

まず、京都市内の主要道路をモデル化したネットワークと実測のODデータを用いて配分計算を行い、平常時の交通量とした。次に、対象領域に対して行った浸水解析の結果から道路の浸水深を求め、それに伴って走行速度と交通容量を変化させた上で平常時と同様の手法により交通量を算出し、これを浸水時の交通量とした。交通量と交通容量の比を混雑度とし、平常時および浸水時の各リンクの混雑度を比較した。また、市内の代表的な地点間の所要時間を比較し、浸水が道路ネットワークの機能に及ぼす影響について考察した。図1に本研究の手順を示す。

次に、浸水解析および交通量解析で用いた手法について述べる。

2.1 浸水解析

(1) ポンドモデルと基礎式

浸水解析には、ポンドモデル⁶⁾を用いた。ポンドモデルは、氾濫域を多数の仮想的な貯留槽(ポンド)に分割するとともに、貯留槽間を移動する流量を求めることにより、氾濫水の拡がり解析するモデルである。貯留槽内の流れを詳細には表せないものの、貯留槽が開水路あるいは管路の連結管で結合されており、イメージとしてわかりやすいため、浸水解析で多く用いられてきている。また、地下空間の浸水解析への適用事例もある⁷⁾。本研究では、対象領域に存在する多くの地下空間も考慮し、図2に示すように地上・地下街・地下鉄全ての空間を貯留槽に分割し、全領域をポンドモデルで統合的に解析する⁸⁾。

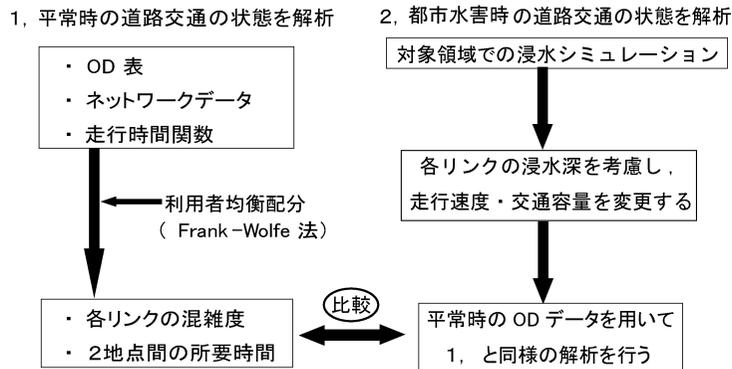


図1 解析手順

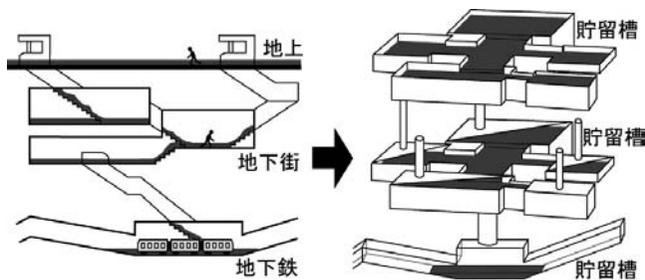


図2 ポンドモデルの概念図

貯留槽間の流量を定義するための基礎式は、以下に示す連続式と運動量式である。まず、貯留槽間の連続式は、地下街では断面積 A_s のスロットを考えることにより以下のように表す。

<連続式>

$$A \frac{dh}{dt} = \sum_{i=1}^m Q_i + Q_{in} \quad (1)$$

$$\text{ただし, } A = \begin{cases} A_f: h < D \\ A_s: h \geq D \end{cases}$$

ここで、 A : 貯留槽の有効底面積、 A_f : 貯留槽の底面積、 A_s : スロットの面積、 h : 水深、 t : 時間、 Q_i : 貯留槽が有する i 番目の接面から流入する流量、 m : 流量の出入りが行われる接面数、 Q_{in} : 地上や地下街の他の階層などからの流入流量、 D : 貯留槽の天井高である。ただし、地上部の解析では、スロットは用いていないので常に $A = A_f$ となる。

次に、貯留槽間の運動量式は次式で表現される。

<運動量式>

$$\frac{L}{gA_b} \frac{dQ}{dt} = \Delta H - \alpha LQ|Q| \quad (2)$$

ここで、 ΔH : 隣接した貯留槽間の水位差、 Q : 流量、 g : 重力加速度、 L : 隣接した貯留槽の図心間の距離、 A_b : 接面の断面積である。また、 α は損失係数であり、マンニングの粗度係数 n を用い、次式のように表す。

$$\alpha = \frac{n^2 s^{4/3}}{A_b^{10/3}} \quad (3)$$

ここで、 s は接面の潤辺である。

これらの式を地上、地下街、地下鉄各層内の水の移動に用いた。ただし、階段部のように上層から下層へ氾濫水が流下するときは運動量式の代わ

りに段落ち式を用いた。また、地上部における氾濫の先端の動きについては、川池⁹⁾が用いた手法に基づき、地盤高の高い方から浸水が広がる場合は段落ち式で、その逆の場合は越流公式で、それぞれ別途表現した。

(2) 浸水計算条件

対象領域は京都市の平地部とした。ただし、山科区と桂川右岸の地域は、市の中心部と山または川を隔てており、浸水・交通渋滞ともに中心部とは異なった傾向を示すと考えられるため、対象領域から除外した。図3に対象領域を示す(面積：約59.2km²)。なお、対象領域を北部・東部は山地部付近まで、西部は桂川の堤防まで、南部は宇治川の堤防まで取っていることを考え、領域外への水の流出はないものとする。

次に、地盤高を図4に示す。京都市は北から南に、また、東から西に地盤が低くなっていること

がわかる。特に北から南はその傾向が顕著である。

地上部の貯留槽分割の様子は図4に地盤高とともに示されている。貯留槽の境界の開口率や地盤高の値により高架や盛土を表現している。また、貯留槽の底面積に占める実際に水が溜まる底面積の割合を有効率と定義し、これを構造物の密集具合に応じて各貯留槽ごとに決定した。なお、対象領域内に存在する小河川や水路はここでは取り扱っていない。

地上の貯留槽の数は518個であり、入力データは京都市が発行している縮尺1/2500の都市計画地図をもとに作成した。

このようにして得られた地上部の浸水深分布を浸水時の交通量解析に適用した。



図3 対象領域

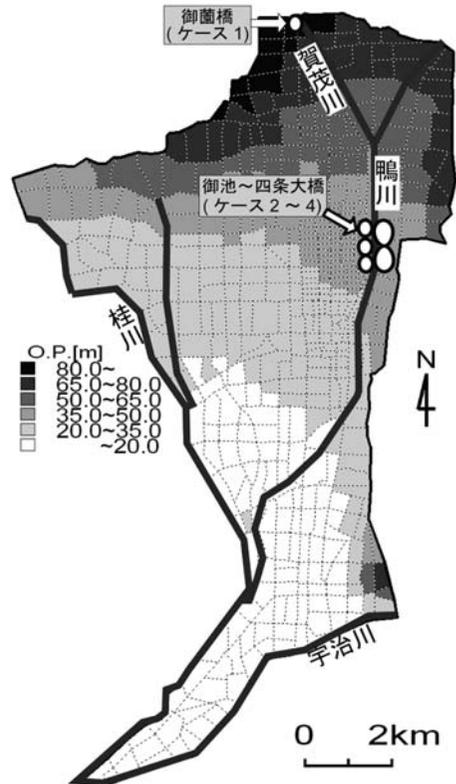


図4 地盤高および流入地点

2.2 交通量解析

対象とする道路は、主に京都市内で基盤の目状に広がる主要道路とし、国道、府道の大部分と一部市道を含めた。浸水解析の対象領域に含まれる区間のみを取り出し、浸水による影響の小さいと思われる高速道路を除外して、対象ネットワークとした。ネットワークを図5に示す。

(1) 平常時の交通量解析

OD表・ネットワークデータ（自由走行時間・交通容量）・走行時間関数をインプットデータとし

て、Frank-Wolfe法による利用者均衡配分（日配分）¹⁰⁾を行った。

まず、OD表については、平成11年度道路交通センサス¹¹⁾の平日OD交通量データを基に、対象領域内の交差点（ノード）間のOD表として作成した。この際、近隣都市への流出交通は境界ノードに、長距離の流出交通は京都南I.C.または京都東I.C.の近い方に集まると仮定した。ただし、京都東I.C.は対象領域外であるため、京都東I.C.に近い境界ノードへ集まるとして集計した。流入交通についてはその逆の扱いとした。また、集計の

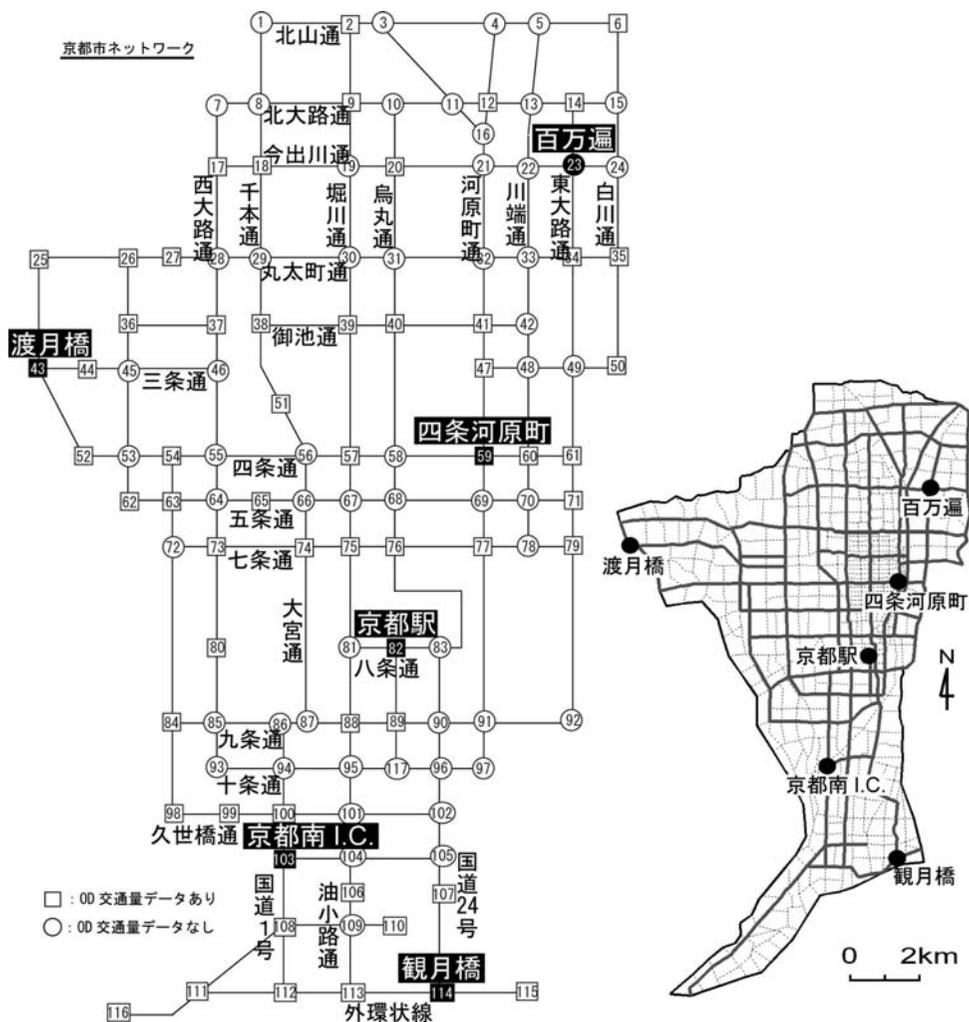


図5 対象ネットワーク

簡易化のため、領域に対する完全通過交通は除外した。本研究では平常時を基準として、各浸水ケースにおける道路区間の混雑度および所要時間を相対的に比較分析することで、道路ネットワークの耐浸水性を議論することを企図している。そのため、完全通過交通を除外して混雑度を推定しても、大きな問題は無いと考えている。

各リンクの自由走行時の走行速度は、信号交差点での停車や駐車車両・対向車線を走る自動車からの影響を考慮して、道路種別・車線数ごとに値を設定した(表1参照)。そして、地図から読み取ったリンク長を、設定した走行速度で除して各リンクの自由走行時間とした。

交通容量は、基準交通容量の最も一般的な値(表2参照)¹²⁾に、車道の幅員・側方の余裕・沿道状況などを考慮した補正を行い設定した。ただし、1車線道路については、『道路の交通容量』¹²⁾に従って別途設定した。国道24号や八条通の京都駅付近の区間および四条通といった繁華街では、補正後の交通容量が基準交通容量の値と比較して1/3前後となり、1車線あたりで1500台/時ほどの大きな差となった。時間交通容量を日交通容量に変換するための日換算係数は $\gamma = 12$ とした。

リンク交通量とリンクの走行時間との関係を表す走行時間関数としては、米国道局(US Bureau of Public Road)で開発されたBPR関数が広く用いられている。我が国では道路規格が我が国と類似しているオランダで開発された修正

BPR関数がより一般的に用いられており、本研究でも修正BPR関数を走行時間関数として採用する¹³⁾。

<修正BPR関数>

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (4)$$

ただし、 $\alpha = 2.62$, $\beta = 5.00$

ここで、 t_a :リンクaの走行時間、 t_{a0} :リンクaの自由走行時間、 x_a :リンクaの交通量(台/日)、 C_a :リンクaの交通容量(台/日)である。

以上のOD表・ネットワークデータ・修正BPR関数を用いて、Frank-Wolfe法による利用者均衡配分の計算を行い、平常時の交通量とした。

(2) 浸水時の交通量解析

浸水の道路交通への直接的な影響は、各リンクの走行速度と交通容量の低下のみであると仮定し、災害情報による外出の見合わせ等、交通需要の発生に関わる不確定要素の多い項目については考慮しないこととした。それゆえ、浸水時にも平常時と同じOD表を用いて交通量配分を行った。また、簡易な手法ではあるが入力データの確かさや計算手法の理論的妥当性が確認されている日単位の交通量配分を用いたため、浸水深や交通量の分布の時間変化を考慮することはできなかった。そのため、ある一時刻の浸水状況をそれが一日続く静的なものであると仮定し、その浸水状況に応じた日交通量配分を行うこととした。このように仮定しても、平常時の解析結果との比較を行うことにより、浸水状況に対応する交通障害の程度を定性的に捉えることは可能であると考えられる。

30cm以上の浸水が起きると、自動車のマフラーなどの冠水によりエンジンが停止してしまうことが考えられる。そのため、浸水深が30cm以上になると、その道路リンクは道路としての機能を失い実質上の途絶状態に陥ると仮定した。すなわち、走行速度・交通容量の低減率を100%とし、自由走行時間を無限大、交通容量を0とみなした。また、一般に浸水深の増加に伴い道路の走行

表1 設定速度

	往復1車線	片側1車線	片側2車線	片側3車線以上
一般国道	(なし)	25km/h	40km/h	40km/h
府道・市道	25km/h	25km/h	30km/h	35km/h

表2 基準交通容量

2方向2車線道路	多車線道路
2500台/時/2車線	2200台/時/車線

性は低下すると考えられるため、30cm以下の浸水箇所では、線形補間というかたちで低減率を設定した(表3参照)。

表3 速度・交通容量の低減率

浸水深(cm)	速度,交通容量の低減率(%)
0.00~3.75	0
3.75~7.50	12.5
7.50~11.25	25
11.25~15.00	37.5
15.00~18.75	50
18.75~22.50	62.5
22.50~26.25	75
26.25~30.00	87.5
30.00~	100

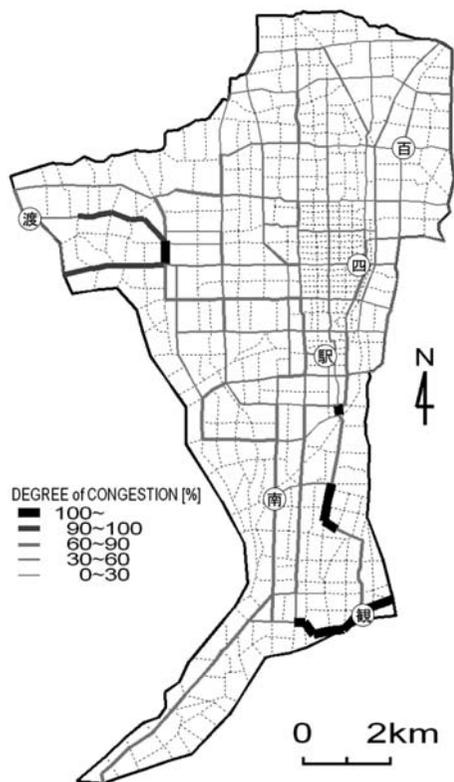


図6 平常時の解析結果

浸水解析の結果から、各道路リンクに対応する部分の浸水深を取り出し、設定した低減率を乗じることにより走行速度と交通容量を変化させた。その上で平常時と同様の手法により交通量を算出し、これを浸水時の交通量とした。

3. 溢水ケースごとの解析結果

3.1 平常時の解析結果

平常時の解析結果(混雑度)を図6に示す。また、数組のOD交通を取り上げて、利用者均衡配分計算の結果より、各OD間の最短経路の所要時間を往復平均という形でまとめて表4に示す。ここで取り上げた交通は、図5で示した6地点(渡月橋, 百万遍, 四条河原町, 京都駅, 京都南I.C., 観月橋)のいずれかを起終点とするOD交通である。後に示す浸水時の所要時間表も同様の方法でまとめた。平常時においても南部では国道24号や外環状線が、西部でも一部区間が慢性的な混雑状態にあるという様子を見てとることができる。

3.2 浸水時(ケース1)の解析結果

対象領域の最北端(賀茂川の最北端)で一部堤防が決壊した状況を想定し、流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ を計算開始と同時に180分間、御蔭橋付近の格子(図4参照)に流入させた。図7は計算開始180分後の浸水深と道路の混雑度を、表5はそのときの各地点間の所要時間を示したものである。浸水域が広範囲に及んでいるにもかかわらず、交通量は平常時とほぼ変化なく、道路交通にはさほど大きな混乱は見えない。浸水深が小さいことや交通容量から見て比較的余裕のある区間への浸水が主であること

表4 平常時の所要時間

渡月橋	四条河原町	京都駅	京都南I.C.	観月橋	
29分	7分	14分	24分	53分	百万遍
	28分	30分	37分	1時間8分	渡月橋
		7分	17分	46分	四条河原町
			11分	40分	京都駅
				32分	京都南I.C.

により、浸水による道路交通への影響はあまり顕著では無かったと推察される。

3.3 浸水時（ケース2）の解析結果

次に、鴨川の市内中心部からの溢水を想定し、計算開始と同時に180分間、御池大橋～四条大橋兩岸の5つの格子（図4参照）に均等に $20\text{m}^3/\text{s}$ ずつ（合計 $100\text{m}^3/\text{s}$ ）流入させた。この溢水流量および溢水箇所は、概ね100年に一度の豪雨により生じる鴨川の洪水を想定したものである。図8は計算開始180分後の浸水深と道路の混雑度を、表6はそのときの各地点間の所要時間を示したものである。計算開始180分後の時点は、仮定した溢水の終了時点に相当するため、溢水地点付近でも深さ0.5m前後の浸水が認められる。このためリンクの途絶が多数起きており、浸水域の周囲で交通機能を維持している一部道路に需要が集中し

通量が増加したため、南北方向を中心に多くの区間で混雑し、所要時間の増加につながっている。

京都の地形特性の影響もあり、溢水より180分間で、京都市南部でも相当の浸水の発生が確認された。南北方向の主要幹線である、国道1号および国道24号については、その交通処理能力が大きく低下すると考えられる。このことも、南北間の移動に関わる所要時間が大きく増加することの一因となったと考えられる。

3.4 浸水時（ケース3）の解析結果

ケース2と同じ溢水条件で、今度は300分後の浸水深を用いて交通量解析を行った。図9は計算開始300分後の浸水深と道路の混雑度を、表7はそのときの各地点間の所要時間を示したものである。京都市南部は、桂川と宇治川の堤防に挟まれた非常に地盤高の低い地域である。そのため、南部に大量の浸水が溜まり、南北を結ぶ大動脈と言える国道1号が通行不能となっている。そのため、多くの交通がそれより東側の油小路通または国道24号へ迂回し、そちらの交通量が大幅に増加した。浸水域を外れた区間でも多くの渋滞が発生しているが、これは、多数の迂回によりネットワーク内の交通のバランスが崩れた結果であると推察される。表7を見ても、「観月橋」（図5のネットワークの南東端付近）を起終点とする移動に関わる所要時間が、平常時のその5倍以上に増加していることが分かる。すなわち、この計算ケースでは南北交通が壊滅的なダメージを受けていることがわかる。

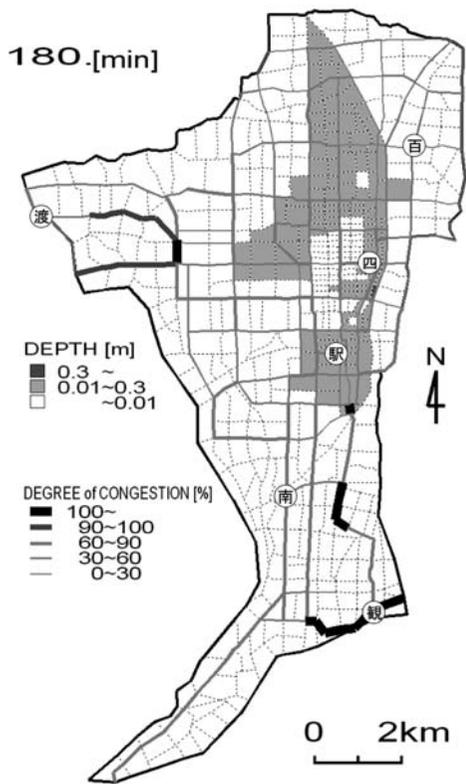


図7 浸水時（ケース1）の解析結果

表5 浸水時（ケース1）の所要時間

渡月橋	四条河原町	京都駅	京都市南I.C.	観月橋	
30分	8分	16分	26分	55分	百万遍
	29分	31分	38分	1時間9分	渡月橋
		8分	19分	48分	四条河原町
			11分	40分	京都駅
				32分	京都市南I.C.

3.5 浸水時（ケース4）の結果

最後に、鴨川からの大量の溢水を仮定し、計算開始と同時に180分間、前の2ケースと同じ箇所（御池大橋～四条大橋両岸の5つの格子、図4参照）に均等に50m³/sずつ（合計250m³/s）流入させた。計算開始180分後の浸水深をもとにネットワークの状態を捉えた。このケースでは、浸水による多くの道路リンクの途絶のため、2.2で設定した道路ネットワーク（図5）が破綻した。これは、入力したOD表に含まれる交通のうちで、出発地からどれだけ迂回をしても目的地まで辿り着けないものが出てきてしまったことを意味しており、平常時のOD表をそのまま用いた交通量解析ではうまく表現できなかった。このときの浸水深と途絶リンクを図10に示す。

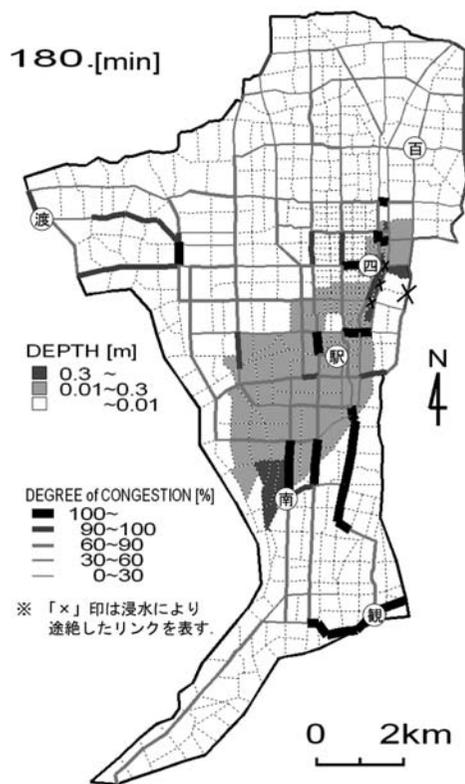


図8 浸水時（ケース2）の解析結果

3.6 総括

溢水地点、溢水量および溢水からの経過時間の異なる四つの条件を想定し、交通量解析を行った。この数値計算結果より、浸水はしても道路交通にはさほど影響のないケースから、浸水域で通行不能のリンクや渋滞が発生するケース、浸水域外の道路交通へも影響の及ぶケース、さらには、ネットワークに対して孤立するノードが出てくるケースまで、様々な状況がある程度まで表現できた。

ケース1とケース2を比較すると、市内中心部が浸水しても、途絶リンクのあるなしで全く状況が変わってくる。また、ケース2とケース3を比較すると、中心部での途絶より、国道1号の途絶のほうが、より大きな混雑をネットワークに及ぼすことがわかった。これは、代替経路が中心部では多数あるのに対して、国道1号では2本しかなかったことによると思われる。また、北東方向から南西方向に浸水が流下する傾向にあるため、溢水地点のみならず、時間の経過とともに、溢水地点より距離的に離れた南部の地域でも浸水が進み、その結果、国道1号・24号などの南北の幹線に大きな支障が生じることが分かった。全体的な傾向としては、東西交通よりも南北交通の方が浸水に対して脆弱であることが分かった。

4. 溢水危険地点の探索

次に、河川からの溢水が発生する場合に、交通障害の観点から最も大きな影響を及ぼす溢水危険箇所を検討してみた。図11に示す各地点（全て、賀茂川または鴨川の右岸側）の格子に流量50m³/sを計算開始と同時に180分間流入させ、計10ヵ所

表6 浸水時（ケース2）の所要時間

渡月橋	四条河原町	京都駅	京都市南I.C.	観月橋	
30分	25分	29分	52分	1時間20分	百万遍
	41分	43分	1時間2分	1時間32分	渡月橋
		27分	50分	1時間19分	四条河原町
			28分	52分	京都駅
				32分	京都市南I.C.

それぞれから溢水した場合の道路交通への影響を比較した。全ケースとも溢水開始120分後、180分後、240分後、300分後の四つの時刻を選び、それぞれについて混雑度が100%を超える区間の総延長を求め、その中で最大のものが平常時と比べてどれだけ増加しているかを比較した。その結果を図12に示す。

溢水地点が南になるほど、道路交通への影響が大きいたことがわかる。前章でも触れたように、北部からの溢水では浸水域は広がる代わりに浸水深はあまり大きくならないため、交通への影響は小さいと推察される。一方、南部からの溢水では地盤高の低い地域に水が溜まり浸水深が大きくなるため、道路交通への影響が大きくなると推察される。ちなみに、混雑区間が最長となる時刻（御蔭橋は180分後、東山橋は300分後）での各地点間の所要時間を比較（表4、表5、表8参照）して

も、平常時、あるいは最北部の御蔭橋からの溢水時と比べて、最南部の東山橋からの溢水時は、南北交通を中心にかかなり混雑している様子が見てとれる。

従って、交通障害の観点から、京都市南部からの鴨川の溢水を阻止することが特に重要であるといえる。

5. おわりに

京都市域を対象とした本研究を通して得られた知見は以下の通りである。

- 鴨川が市内で溢水すると、北東方向から南西方向に浸水が流下する傾向にあるため、溢水地点のみならず、時間の経過とともに、より南部の地域で浸水が進み、その結果、国道1号・24号などの南北の幹線に大きな支障が生じることが分かった。すなわち、東西交通よりも南北交通の方が浸水に対して脆弱であることが分かった。
- 国道1号が浸水すると京都市内のネットワークで大きな混雑が引き起こされることが分かった。これは代替経路の少なさが影響していると推察される。
- 交通障害の観点からみて、京都市南部からの鴨川の溢水に特に留意する必要があることも分かった。

今回対象とした京都市は土地の高低差が大きく、浸水の滞留による長時間に及ぶ道路の浸水は考え難い。したがって、実際には日単位で交通障害が継続する可能性は低いと言える。一方、滞留型の内水氾濫が起こるであろう低平地を対象に解

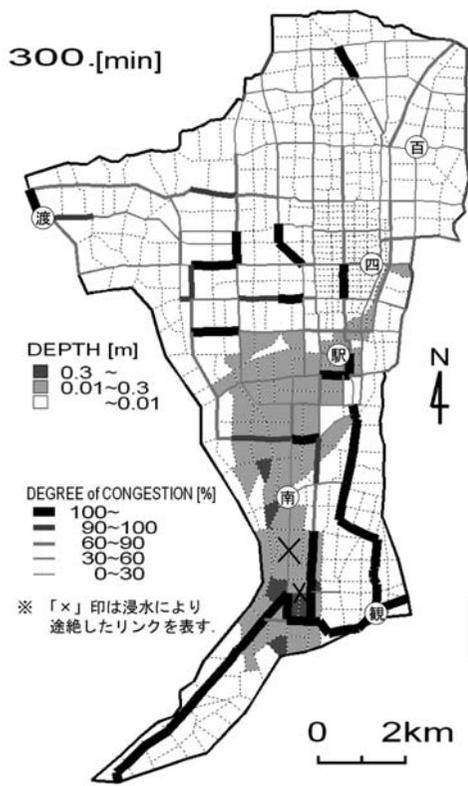


図9 浸水時（ケース3）の解析結果

表7 浸水時（ケース3）の所要時間

渡月橋	四条河原町	京都駅	京都市南I.C.	観月橋	
33分	7分	14分	22分	5時間26分	百万遍
	31分	29分	33分	5時間39分	渡月橋
		7分	14分	5時間19分	四条河原町
			9分	5時間14分	京都駅
				5時間6分	京都市南I.C.

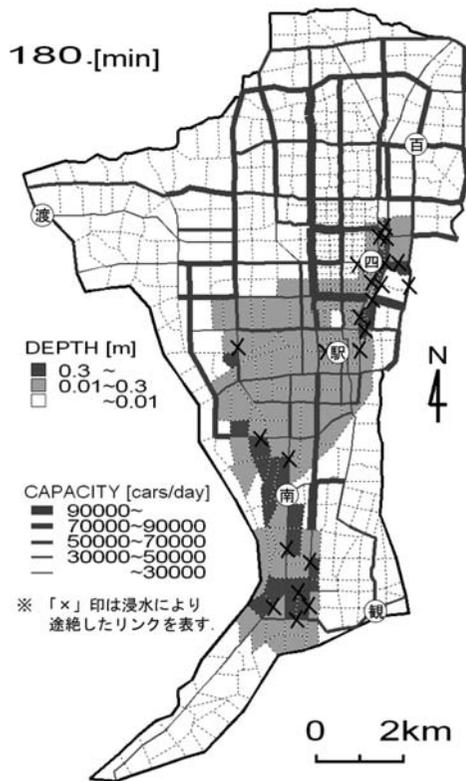


図10 浸水時（ケース4）の浸水深・途絶リンク

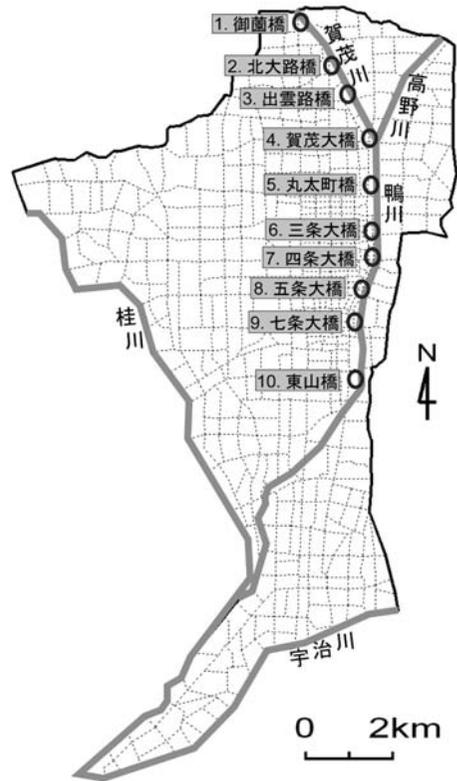


図11 溢水想定地点

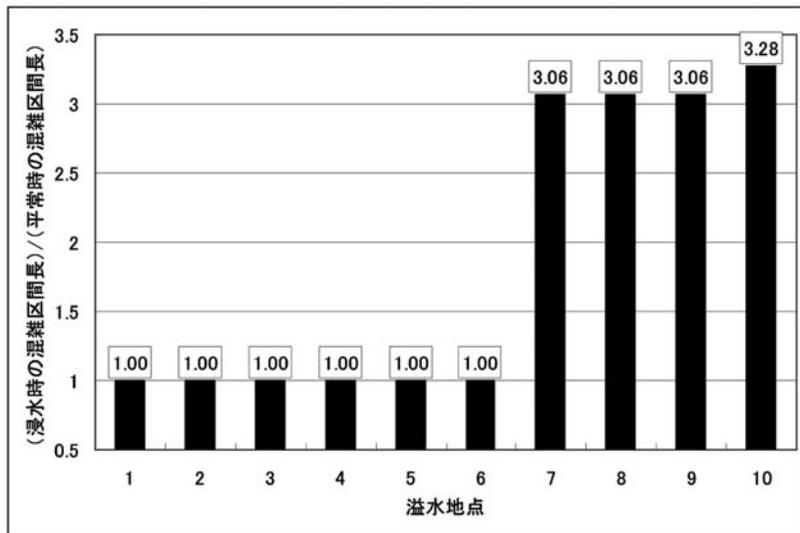


図12 各地点からの溢水に起因する混雑区間長の比較

表8 東山橋から溢水したときの所要時間（300分後）

渡月橋	四条河原町	京都駅	京都南I.C.	親月橋	
28分	7分	13分	24分	1時間57分	百万遍
	27分	29分	37分	2時間12分	渡月橋
		6分	17分	1時間49分	四条河原町
			10分	1時間43分	京都駅
				1時間36分	京都南I.C.

析を行うと、今回の解析でもより実際に近い状況を表現できると思われる。

今後の課題としては、浸水深と走行速度・交通容量との関係について、より現実に近い形での設定ができるよう検討していきたい。また、鉄道をアンダーパスする部分への浸水を考慮すること、ならびに、交通ネットワーク解析の動学化をはかり、浸水状況と道路ネットワーク途絶の時間変化についての分析を試みる点も課題として挙げておく。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、幅広く御指導、御協力を頂きました株式会社 地域未来研究所 中川真治氏・宮島俊一氏、京都大学防災研究所 米山望准教授に心より感謝の意を表します。なお、本研究を実施するにあたり、財団法人 河川環境管理財団の助成を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 神戸新聞, 1989.9.14 (夕刊)
- 2) 加賀屋誠一・内田賢悦・萩原亨：札幌市東北部における水災害時のネットワーク交通容量変化に関する研究, 自然災害科学, 21-4, pp.401-415, 2003.
- 3) 中津川誠・山田孝治・橋本識秀：豊平川流域における洪水時危機管理のための氾濫シミュレーション, 土木学会北海道支部論文報告集, 第55号(B), pp.414-419, 1999.
- 4) 豊平川洪水危機管理検討委員会事務局：豊平川洪水危機管理検討委員会資料, 2000.
- 5) 戸田圭一・井上和也・村瀬賢・市川温・横尾英男：豪雨による都市域の洪水氾濫解析, 土木学会論文集, No. 663/II-53, pp.1-10, 2000.
- 6) 鶴巻有一郎・奥田朗・神月隆一：平面流れとして取り扱った氾濫シミュレーションについて, 第25回水理講演会論文集, pp.249-256, 1981.
- 7) 戸田圭一・栗山健作・大八木亮・井上和也：複雑な地下空間における浸水解析, 水工学論文集, 第47巻, pp.877-882, 2003.
- 8) 間島真嗣・戸田圭一・大八木亮・井上和也：都市域の地上・地下空間を統合した浸水解析, 水工学論文集, 第49巻, pp.601-606, 2005.
- 9) 川池健司：都市における氾濫解析手法とその耐水性評価への応用に関する研究, 京都大学博士論文, 2001.
- 10) 土木学会土木計画学研究委員会交通需要予測技術検討小委員会：道路交通需要予測の理論と適用－第I編利用者均衡配分の適用に向けて, 2003.
- 11) 国土交通省：平成11年度 道路交通センサス, 1999.
- 12) 社団法人 日本道路協会：道路の交通容量, 1984.
- 13) 土木学会「交通ネットワーク」出版小委員会：交通ネットワークの均衡分析－最新の理論と解法－, pp.14-19, 1998.

(投 稿 受 理：平成18年11月16日
訂正稿受理：平成19年3月16日)