

動的利用者均衡配分による平成30年7月豪雨後の 広島都市圏における交通混雑評価

松原 大雅¹・浦田 淳司²・井料 隆雅³

¹学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail:190t134t@kobe-u.ac.jp

²正会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: urata@bin.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

「平成30年7月豪雨」による土砂崩れなどの被害を大きく受けた広島県では、多くの道路が通行止めとなったことで、大規模な交通障害が発生した。このような被災後の交通状態を分析することは、今後発生しうる災害の復旧期において、効果的な交通政策を講じるための重要な知見になりうる。本研究では、特に被害の大きかった広島県呉市を中心とした道路ネットワークを対象として、平時および災害復旧期を模した道路ネットワークと動的な交通需要を構築し、動的な利用者均衡状態に近い状態を数値的に計算した。計算により得られた平時および災害後の交通流および交通混雑のパターンを比較することにより、災害復旧期に発生しうる交通渋滞が、平時のそれとどのように異なる可能性があるかを評価した。

Key Words : *Dynamic user equilibrium assignment, the Heavy Rain Event of July 2018*

1. はじめに

平成30年7月豪雨によって、広島県では、豪雨による土砂崩れ等の影響で、広島県道路全区間(16km)をはじめとする多くの道路が通行止めになる等、大規模な交通障害が発生した¹⁾。発生直後における緊急車両や救援物資輸送はもちろんのこと、交通規制が完全に解除されるまでの間、通勤や通学といった日常の交通においても交通渋滞が慢性化し、ピーク時は広島市から呉市までのバスの所要時間が通常の2倍となる程であった²⁾。道路規制だけでなく、JR呉線などの主要公共交通機関も土砂被害などの影響によって運転が困難であったために、深刻な交通渋滞が発生していた³⁾。これらの交通障害は長期にわたって継続し、地域生活や復旧活動に大きな影響を与えた。実際、JR呉線の呉以西の運転再開までは65日を⁴⁾、広島県道路の通行止めが解除されるまでには83日⁵⁾を要している。

平成30年7月豪雨に起因する交通障害が、交通量配分によりどの程度机上で再現できるかを事後的にでも評価することは、同様の災害が多く発生する日本における交通政策の重要な知見となる。災害の多い日本においては、今後もこのような長期間継続する災害による交通障害が多く発生することが予想される。災害後の復旧期における交通量配分の経験を積むことは、今後、発災後に、交

通量配分の計算を迅速に実行し、それにより効率的に交通制御や復旧計画を可能とすることに大きく寄与するであろう。

道路混雑の主な原因となる渋滞は時間と共に変化する動的な現象であり、これを交通量配分において適切に表現するためには、動的な交通流モデルを明示的に考慮した動的交通量配分を行う必要がある。利用者均衡配分を考えた動的交通量配分は、動的利用者均衡(DUE: Dynamic User Equilibrium)配分と呼ばれる。DUE配分により動的な均衡状態を求める方法論は多く提案されているが、いまのところ、効率的な求解を常に可能とする標準的な解法は知られていない。また、一般に、利用者均衡配分問題を解くときには多数回の反復計算が必要となるが、動的交通量配分は計算負荷が静的交通量配分とは比較にならないくらい大きい。このことは、大規模なネットワークにおいて動的な利用者均衡状態を解くことを計算負荷の面から難しくしている。

本研究では、大規模ネットワークでもDUE配分の計算を高速に実行することを可能にするために、並列計算機への実装を意図して開発されたソフトウェアであるFastDUE⁶⁾を用いる。FastDUEは、ネットワークをサブネットワークに空間分割し、サブネットワークごとに異なるCPUを用いて交通流を並列計算することによって、並列計算機での動的利用者均衡配分問題の高速計算を可能

としている。FastDUEでは、繰り返し計算によりサブネットワーク間の不整合の解消と、利用者の経路選択の更新を同時に行い、それにより動的な均衡状態に近い状態を求める。

本論文の構成を以下に述べる。第2章では、対象エリアにおける道路ネットワークと動的な交通需要パターンの構築の手順について述べる。第3章では、FastDUEの計算アルゴリズムの概要を紹介する。第4章で平時および発災後の計算結果を述べる。第5章で考察と今後の課題を述べる。

2. 入力データの作成方法

本節では、デジタル道路地図(DRM: Digital Road Map)や道路交通センサスによるOD(起終点)交通量データなどの既存のデータセットを元にし、DUE配分に適した入力データを作成する手法について述べる。これらのデータセットはDUE配分を実行するために有用であるが、入力データとして何ら変換なくそのまま用いることはできない。あわせて、災害復旧期におけるDUE配分を実施するには、道路ネットワークと交通需要が災害によって受けた影響を反映させたデータセットを構築しなければならない。以下(1)以降ではこの詳細を説明する。

(1) 平時の道路ネットワークデータの整備

広島県呉市を中心とした平時の道路ネットワークデータを、DRMの平成26年版のデータを元に構築する。DRMは、道路の幾何的な情報、すなわち、各リンクのリンク長、車線数、道路種別、リンク間の結合関係などのデータが格納されている。これらのデータは有用である一方、DUE配分で必要な交通容量、自由流旅行速度、Backward wave速度などの情報はないため、何らかの方法で設定する必要がある。この詳細を以下で説明する。

a) リンク容量

リンク容量は、道路構造令の新設計法の基本交通容量⁷⁾に基づき、1車線道路は1,700(pcu/h)、2車線道路は4,400(pcu/h)、3車線道路は6,600(pcu/h)とした。実際の交通容量は箇所依存するので、代表的な値にすぎないこれらの値は十分正確であるとはいえないが、今回はこのまま用いる。

b) 自由流旅行速度、Backward Wave速度

リンクの自由流旅行速度は、対象地域におけるETC2.0プローブデータに基づいて設定した。ETC2.0に記録された各ノードペアの旅行速度を2015年10月1日から2015年10月7日の期間において集計し、異常値を取り除くために80%tile値を自由流旅行速度とした。データ欠損箇所については、正常にデータを集計できた同じ道路種別の全リ

ンクにおける旅行速度80%tile値の平均値を用いて設定した。Backward Wave速度は、平時では一律で20(km/h)に設定した。

c) 高速・有料道路の料金設定

有料道路における通行料金は、車両の経路選択に影響するので、適切に考慮しなくてはならない。この際に注意すべき制約は2つある。1つ目は、料金は適当な時間価値により旅行時間に変換しなくてはならないこと、2つ目は、料金はリンクごとに指定しなくてはならない(単位距離あたりで指定してもよい)ことである。これらの制約は、FastDUEは、経路上のリンク旅行時間の合計を(確率的誤差を含んで)最小にするように経路選択をDijkstra法によって計算することに起因する。

対象地域の有料道路である、山陽自動車道、広島高速道路1~4号線、広島呉道路、広島熊野道路について、リンク単位または単位距離あたりの料金を設定する。山陽自動車道については、NEXCO西日本が公開している高速道路簡易料金表⁸⁾を参考にして、対象地域において最も速いインターチェンジ間の距離料金を元に、単位距離あたり料金を $1,340(\text{円}) / 44.2(\text{km}) \approx 30(\text{円}/\text{km})$ と設定した。広島高速道路については、1~3号線と4号線で料金表が異なるため、それぞれで異なる料金設定を行った。いずれにおいても広島高速道路公社が公開している料金表⁹⁾を参考にし、1~3号線においては対象地域において最も速いインターチェンジ間の距離料金を元に、単位距離あたり料金を $650(\text{円}) / 19.7(\text{km}) \approx 33(\text{円}/\text{km})$ と設定した。4号線においては1区間のみであるため、その固定料金 370(円)を入口のリンクに設定した。広島呉道路については、NEXCO西日本が公開している高速道路簡易料金表¹⁰⁾を参考にして、対象地域において最も速いインターチェンジ間の距離料金を元に、単位距離あたり料金を $920(\text{円}) / 16.5(\text{km}) \approx 56(\text{円}/\text{km})$ と設定した。広島熊野道路については、一律の料金設定であるため、広島県道路公社が公開している料金表¹¹⁾を参考に、固定料金200円を入口のリンクに設定した。

時間価値は20(円/分)としている。この時間価値は国土交通省による値(40.1円/分・台)¹²⁾の約1/2である。今回は、広島呉道路周辺の災害による影響の評価が重要であるため、平時における広島呉道路の交通量が過少にならないように、直接の根拠はないものの、小さめの時間価値をあえて設定して用いている。

(2) 道路ネットワークデータの調整

DRMは、上下方向が分離された幹線道路同士の交差点のような場所を表現するのに、図-1のような、短いリンクを組み合わせた構造を用いている。このような構造が存在するネットワークに一定程度の交通量を流すと、容易にグリッドロックが発生し、交差点の容量がゼロにな

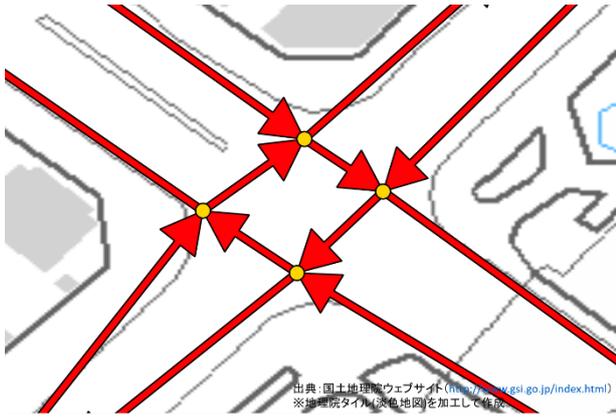


図-1 交差点内のネットワーク構造(オリジナルデータ)

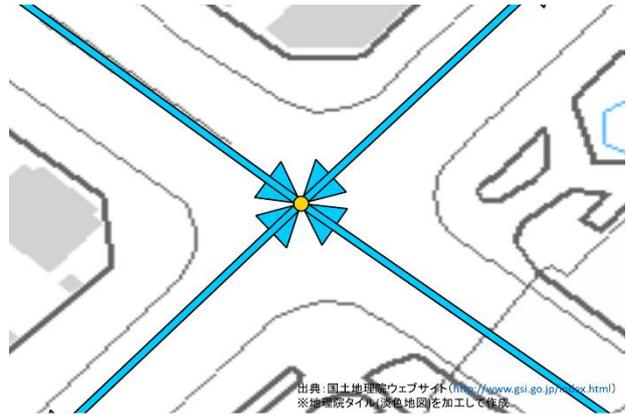


図-2 交差点内のネットワーク構造(改善後)

ってしまう。実際の交差点では、信号制御や内回りによる右折、交差点内での滞留の禁止により、グリッドロックが発生することはありえない。本研究では、このような、現実には発生し得ないグリッドロックの発生を抑止するために、交差点を記述するグリッド構造の除去を行った。例として、図-2に、図-1のネットワークに対する修正を示す。同様の処理は三角形のグリッドに対しても行っている。

シミュレーションの計算負荷を軽減するために、道路ネットワークデータを簡略化した。中間に他の道路と接続する交差点を持たない一続きのリンクのうち、車線数(容量)と道路種別(料金設定)が一致するものを1リンクとしてまとめた。まとめる際には、リンクパラメータの更新も行った。車線数が同じリンクをまとめたため、容量は不変であるが、距離と自由流旅行時間については、まとめたリンクパラメータの和を用いて更新し、自由流旅行速度はそれらの調和平均で設定した。他のパラメータについても、これらの更新した値に基づいて更新した。これにより、総リンク数は12,977本から4,991本まで、総ノード数も7,089個から2,913個まで減少した。

(3) 災害復旧期の道路ネットワークへの影響の付加

災害復旧期の再現を行うためには、災害後に発生した交通規制情報や、被災による交通容量低下により発生したボトルネックに関する情報を道路ネットワークデータに付加する必要がある。本節ではこれらのデータ作成手順を説明する。

a) 交通規制情報の反映

豪雨災害による通行止め箇所を反映させるために、広島県が、豪雨が発生した平成30年7月から平成30年9月までの期間において、豪雨災害による通行止め箇所を取りまとめた地図データを用いた¹³⁾。本研究ではこのうち災害発生から約3週間経過し、復旧期にあったと考えられる平成30年7月27日時点の通行可能区間情報を用いて、片側交互通行や通行止めとなっていたリンクの特定を行った。

通行止め箇所はリンクに閉塞フラグを付け、片側交互通行箇所は平時のリンク容量の1/2、臨界密度40(pcu/km)、ジャム密度120(pcu/km)を設定した。対象道路ネットワーク内において、通行止めリンクは35ヶ所、片側通行リンクは18ヶ所であった。

b) ボトルネック部の推定

a)の交通規制のほか、交通容量の低下が特に問題とされたのは、広島市内と呉を結ぶ国道31号線であった。国道31号線は通行可能であったものの、仮復旧による区間や災害復旧に関連する交通の出入りなどを理由として、道路容量の低下が起こっていたことが知られている¹⁴⁾。本研究では、この道路容量の低下の影響を考慮するために、災害復旧期にボトルネックとなっていたリンクの推定を、広島県警察が収集した車両感知器データを使用して行った。国道31号線を含む広島市内から呉市内までを結ぶ道路を対象としている。車両感知器データには、1分間隔で集計された車両の交通量、占有率、平均速度がそれぞれ1時間単位に正規化されたものが記録されている。

対象区間上のボトルネックの位置は、

1. Q-K図による判別
2. 占有率95%tile値の位置関係による判別
3. 付加情報による判別

という3通りの判別基準により推定した。これらの判別基準ではQ-K図にプロットされた交通流を自由流と渋滞流に分類する必要があるが、これにはKittler法¹⁵⁾を用いた。Kittler法とは本来、画像処理分野において、対象領域と背景領域の濃淡値がともに正規分布に従うという仮定の下で、2つの分布の境界となる閾値を決定する手法である。Kittler法を用いて車両感知器の速度データから臨界速度を算出し、自由流と渋滞流の判別を行った研究として白石ら¹⁶⁾、坪田ら¹⁷⁾の例がある。本研究においては、坪田らが用いた方法を採用し、自由流と渋滞流の判定を行った。この判定方法に加えて、本研究では臨界速度の下限値を20(km/h)とした。下限値を設けた理由は、今回取得したデータが、災害復旧期に渋滞が慢性化していた国道31号線

および呉市内を観測したデータであるため、明らかに1日中混雑していた箇所が存在するからである。1日中混雑を起こしている場合、自由流が観測されず、渋滞流であるはずの交通状態において、2つの速度分布のピークが観測されるため、過小な臨界速度が算出されてしまう。下限値を20(km/h)に定めた理由は、警視庁が公開している交通情報の提供に関する指針¹⁸⁾において、「混雑」と表現すべき速度が20(km/h)以下と定義されているからである。

判定基準1においては、隣接する感知器間で渋滞流の観測割合が大きく変化する（上流側では渋滞の割合が多いが、下流側では少ない）地点を、まずはボトルネックの候補とする。さらに、下流側のQ-K図において、臨海密度付近のプロットが欠けていないことを確認できた地点をボトルネックとして推定している。

判定基準2について詳細を説明する。 l_i を車両*i*の車長、 v_i を車両*i*の感知地点の速度、 T を計測時間単位とすると、占有率は、

$$O_{ct} = \frac{\sum_i (l_i / v_i)}{T} \times 100(\%) \quad (1)$$

という式で表される。占有率は、式(1)からわかるように、感知される車両の速度が遅いと大きくなる。本研究では、占有率95%tile値が連続して大きな値を示す感知器のうち、一番最下流の地点をボトルネックと推定している。

判定基準3について詳細を説明する。基本的には1, 2の基準を適用するが、平時とは明らかに異なる災害時特有の道路形状となっていた場所に関しても、リンクパラメータをボトルネック容量に更新した。

以上の判定基準から推定したボトルネックのリンクパラメータは、容量1,000(pcu/h)、臨界密度40(pcu/km)、ジャム密度120(pcu/km)で表されるQ-K関係で更新した。更新したリンクは、いずれも本研究で容量を1,700pcu/hに設定している片側1車線の道路であることから、容量はそれを下回る値にしている（ただし、値そのものに確たる根拠はない）。ボトルネックリンクは、国道31号線において、合計12ヶ所を設定した。

c) 高速・有料道路における半額・無料措置の反映

平成30年7月豪雨後、山陽自動車道では高屋～広島IC間の通行料金を半額に、広島熊野道路では無料にするという交通政策を行っていた¹⁹⁾。本研究においても、これらの政策を反映し、第2章(1c)で行った料金設定を更新した。

(4) 発生集中交通量データ

DUE配分は、時間変化する交通需要に応じた混雑状況を再現するために時間帯別のOD交通量データを必要とする。時間帯別のOD交通量データは日OD交通量データから作成する。本研究では、平成22年度道路交通センサスで集計された中国地方における車種別の日OD交通量のうち、計算対象のネットワークを明らかに通過してい

ないODペアの交通量を除いたものを用いた。具体的には、離島のみで完結するOD、対象地域の以東や以西、以南、以北のみで完結するOD、呉市および広島呉道路が通る地域以北でトリップが完結するODペアを除いた。

リンクの時間帯別観測断面交通量を用いて日OD交通量を推定した事例として、小根山ら²⁰⁾や小林ら²¹⁾の研究がある。また、飯島ら²²⁾も同様の方法で時間帯別OD交通量を推定し、動的交通流シミュレーションに適用した。小根山らや小林らの研究では、ODペアの経路選択確率を介在させた推定モデルを提案している。これらの研究では、経路選択確率を正確に表現できない場合に大きく精度を欠いてしまう点が課題となる。一方で、飯島らの方法では、方向別・車種別の時間係数を設定するのみで経路選択確率を考慮していないものの、最終的なシミュレーションの結果では高い再現性を示していることから、十分な精度を得られると考えられる。

本研究では、飯島らの方法を参考に時間帯別OD交通量の推定を行った。日OD交通量は、一般道路における5分間集計の時間帯別断面交通量に基づいて方向別の時間係数を設定し、1時間単位のOD交通量に分割することにより時間帯別OD交通量に変換される。時間帯別断面交通量は、JARTIC(日本道路交通情報センター)の車両感知器をデータソースとし、平成30年7月27日に観測されたデータを使用した。以下に、具体的な手順を示す。

Step1: リンクへの断面交通量情報の紐づけ

対象ネットワークの各リンクに対して、同じ道路・方向の交通を観測した車両感知器の断面交通量情報を紐づける。

Step2: リンクの重み付け

各ODペアに対して最短経路探索を行う。求めた最短経路で各ODペアが通るリンクを列挙し、起点から近い順にリンクの重み付けを行う。

Step3: 時間係数の設定

Step2で求めたリンクの重みに基づいて、各ODペアに対し、経路となるリンクに紐づいたそれぞれの時間帯別断面交通量から各時間帯の時間係数を設定する。

Step4: 時間帯別OD交通量の算出

Step3で設定した時間係数を各ODペアの車種別の日集計交通量に乗算することで時間帯別OD交通量を算出する。

Step1では、リンクと断面交通量の紐づけを行う。車両感知器は、対象ネットワーク内に188ヶ所存在する。これらの感知器が観測した5分間集計の時間帯別断面交通量を1時間ごとに集約した。欠測がある場合には、同じ感知器における前後の時間帯別断面交通量を用いて線形補完を行った。そして、集約した1時間ごとの断面交通量情報を車両感知器と同じ道路・方向を表すリンクに紐づけた。

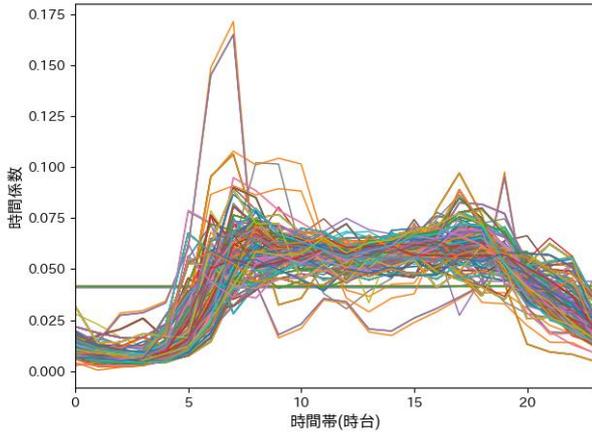


図-3 全ODペアの時間係数

Step2では、起点に近いリンクが持っている断面交通量情報ほど、OD交通量の真値に近いと仮定し、近いものから順にリンクの重み付けを行う。まず、各ODペアに対して、対象ネットワーク内でDijkstra法による最短経路探索を行って得られた経路をそのODペアが通る経路と仮定すると、ODペア x が i 番目に通るリンク l_{ix} の重みは、

$$W_{ix} = \frac{\exp(A \cdot i_x)}{\sum_{i=1}^{n_x} \exp(A \cdot i_x)} \quad (2)$$

と表される。ここで、 A はパラメータであり、本研究では、簡易的に $A = 1.0$ と設定した。この方法に従って、ODペアごとの最短経路に含まれるリンクの重み付けを行う。

Step3では、各ODペアが通る最短経路に含まれるリンクそれぞれの時間帯別断面交通量情報から、Step2で求めたリンクの重み付け係数 W_{ix} に基づいて、時間係数を設定する。ここで、ODペア x の時間帯 t における i_x 番目リンクの観測断面交通量を v_{ix}^t とすると、時間係数は、

$$E_x^t = \frac{\sum_i W_{ix} \cdot v_{ix}^t}{\sum_t \sum_{ix} W_{ix} \cdot v_{ix}^t} \quad (3)$$

という式で求められる。

Step4においては、Step3で求めた時間係数 E_x^t を当該ODペア x の日OD交通量 V_x に乗算し、推定したい時間帯別OD交通量 \hat{V}_x^t を求める(式(4))。

$$\hat{V}_x^t = E_x^t \cdot V_x \quad (4)$$

Step2で求めた最短経路に含まれるいずれのリンクも断面交通量情報を持たないODペアに関しては、他の全ODペアの時間係数の平均値を用いて推定を行った。

以上のように算出した全ODペアに対する時間係数の時間変動を図-3に示す。ほとんどのODペアの時間変動は、朝夕に交通量のピークを持っていることが確認できる。

3. FastDUEの概要

本章では、本研究の交通流シミュレーションに用いるFastDUEの概要を説明する。FastDUEは、Iryoらによって開発された⁶⁾、DUE配分を用いた交通流シミュレータである。「1日に一部の車両が前日の交通状態を基に経路変更を行う」というDay-to-dayダイナミクスを模した計算を反復して均衡状態に近い状態を計算することを意図した実装となっている。FastDUEは、最短経路探索と交通流の計算という2つのコンポーネントからなる。FastDUEにおける交通流の計算は、時々刻々の交通状態を逐次計算するのではなく、リンクごとの交通流を1日の全時間にわたって個別に計算し、計算後にリンク間の整合をとることを繰り返すことにより行っている。この繰り返し計算の際に一部の車両の経路を更新する。車両の経路は直近の交通流の状態を用いた最短経路探索により定める。このとき、リンク旅行時間に正規分布の誤差を加えて経路選択が確率的になるように実装している。

FastDUEでは、上記2つの処理を個々に並列化することで高速計算を実現している。最短経路探索に関しては、経路を更新する複数車両を各CPUに分配することで、CPUごとに割り当てられた車両の最短経路探索を行う。交通流の計算に関しては、ネットワーク全体をサブネットワークに空間分割し、サブネットワークごとに異なるCPUを用いてリンクごとの交通流を計算する。

4. DUE配分の計算結果

(1) 計算の設定

第2章で整備したネットワークデータと時間帯別OD交通量データを入力情報として、FastDUEによるDUE配分を行った。評価対象の広島都市圏道路ネットワークを図-4に示す。リンク数は4,991本、ノード数は2,913個存在する。計算の評価対象時間は1日(24時間)である。計算に用いたOD交通量は、普通車・大型車合わせて1日合計で315,680台である。FastDUEでは、計算量を減らすために一定数の車両を1つの「パケット」にまとめて計算を行うことができる。本研究では、10台を1パケット(大型車では5台を1パケット)にまとめて計算を行った。

(2) シミュレーション結果

FastDUEは繰り返し計算を行うため、定常状態とみられる状態が得られるまで計算を繰り返す必要がある。今回は簡便に、車両台数で重み付けしたリンク平均遅れ時間の変動が概ね安定するまで繰り返し計算を行った。リンク平均遅れ時間の変化のグラフを図-5に示す。平時、災害復旧期いずれにおいても、200回程度の繰り返しでリ

リンク平均遅れ時間が十分安定した。以降では、いずれの場合も、200回目の計算で得られた結果を用いる。図-6に、国道31号線、広島呉道路、広島-呉間を、山間部を迂回して結ぶ経路の位置を示す。

a) 平時のリンク交通量とリンク平均速度

平時の交通量とリンク平均速度を、それぞれ図-7および図-8に示す。これらの地図では、広島および呉周辺を拡大して表示している。地図の外側の部分については、今回は、計算対象のネットワークを明らかに通過していないODペアを除外して計算しているため、交通量も混雑も低いレベルである。地図上で道路が重なって描画される場所では、交通量についてはより大きいほう、平均速度についてはより遅いほうがより上側に描画されるようにしている。

リンク交通量を見ると、広島と呉の間については広島呉道路がもっとも交通量が多いことがわかる。山間部を迂回する経路の交通量はあまり多くはない。平均速度の低下は広島呉道路と呉市内を中心に見られるが、山間部の一部にも多少の速度低下が見られる。

b) 災害復旧期のシミュレーション結果

災害復旧期のリンク交通量とリンク平均速度を、平時と同様にそれぞれ図-9および図-10に示す。リンク交通量を見ると、広島呉道路が通行止めにより使用されなくなるかわりに、国道31号線と山間部の交通量が増えていることがわかる。混雑については、国道31号線の複数の箇所に見られるほか、山間部の混雑も平時にくらべていくらか悪化していることがわかる。

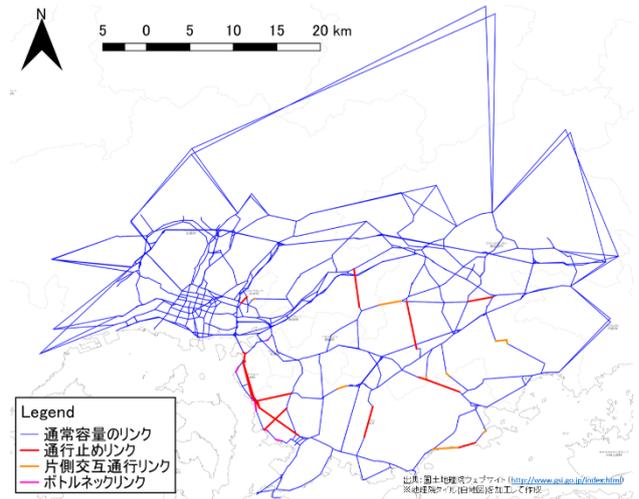


図-4 DUE配分用ネットワーク（ダミーリンクを除く）

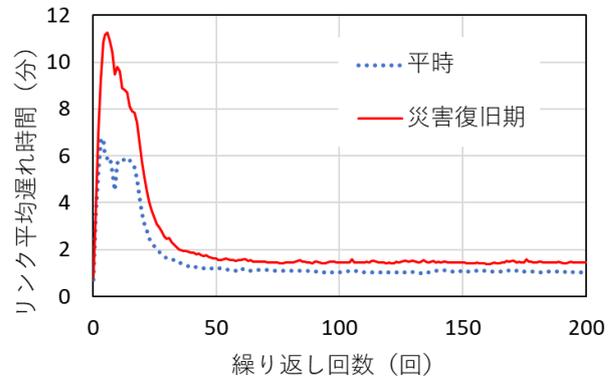


図-5 リンク平均遅れ時間の変化

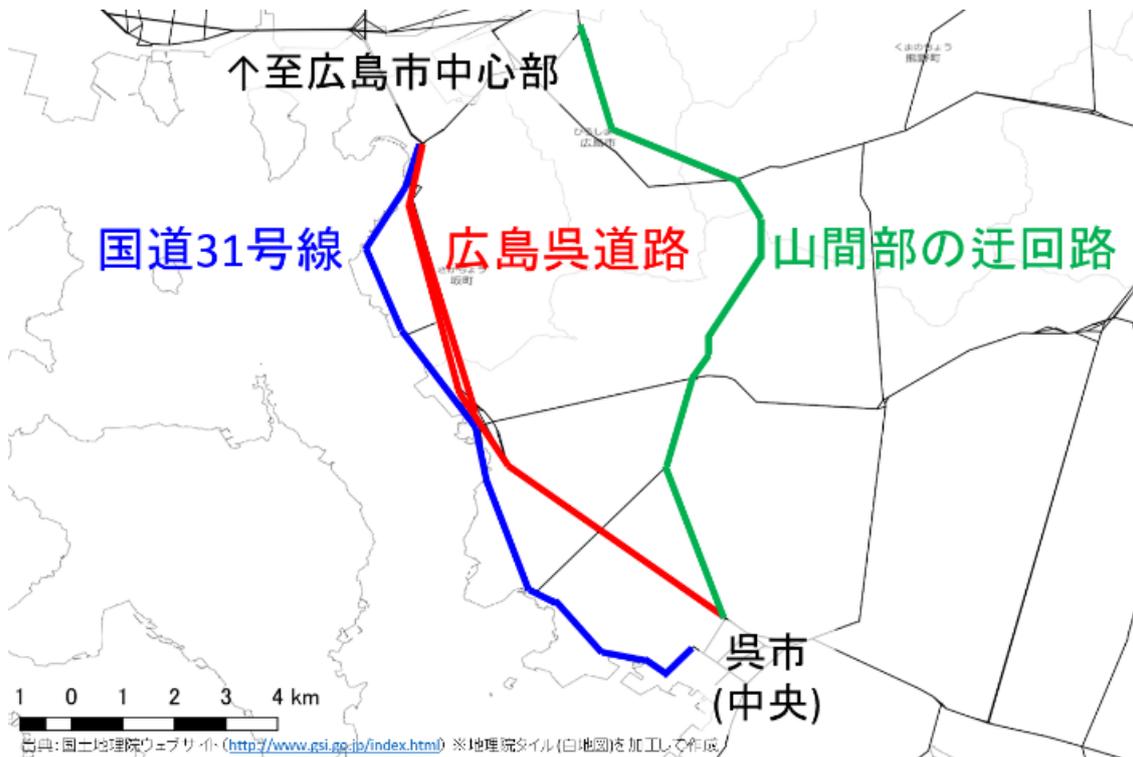


図-6 広島-呉間の各経路

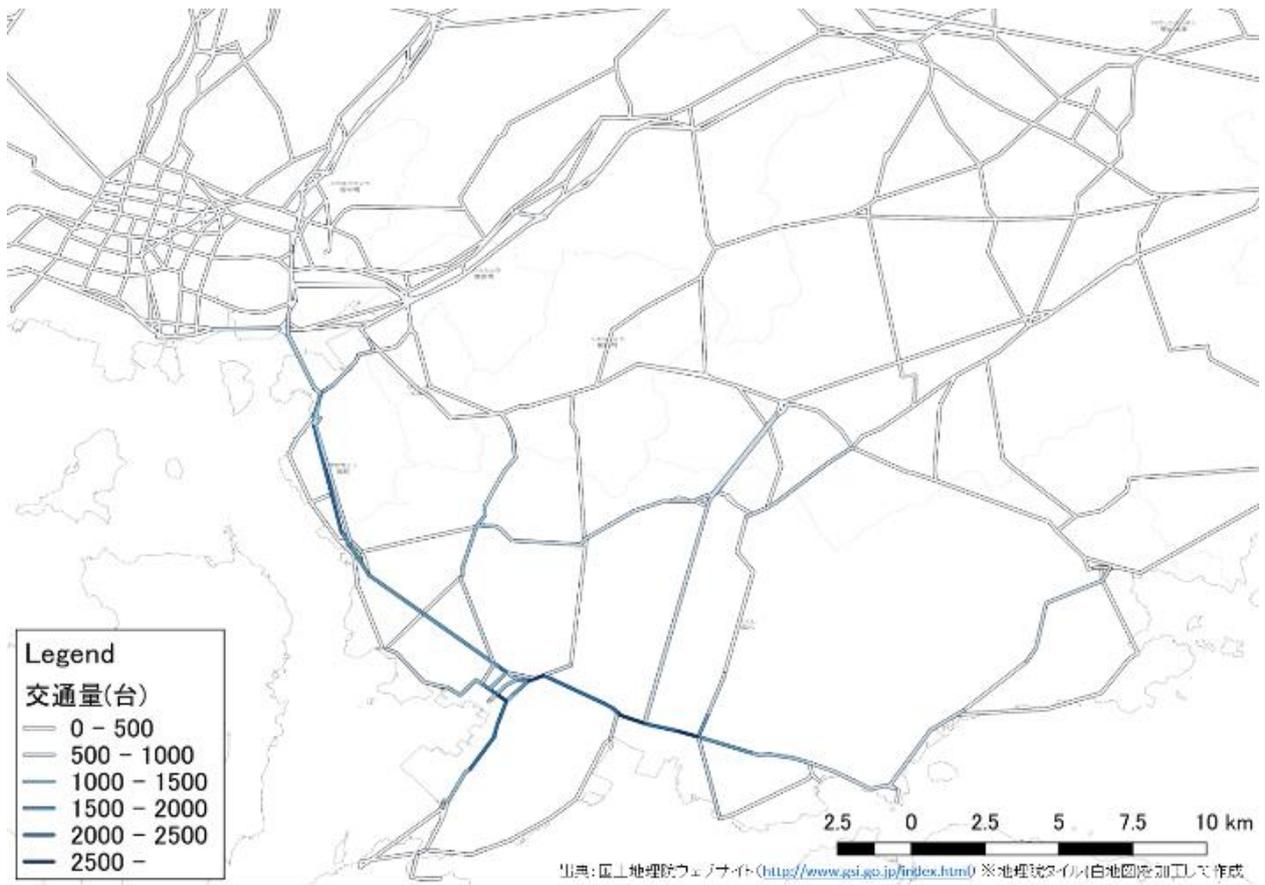


図-7 平時の交通量

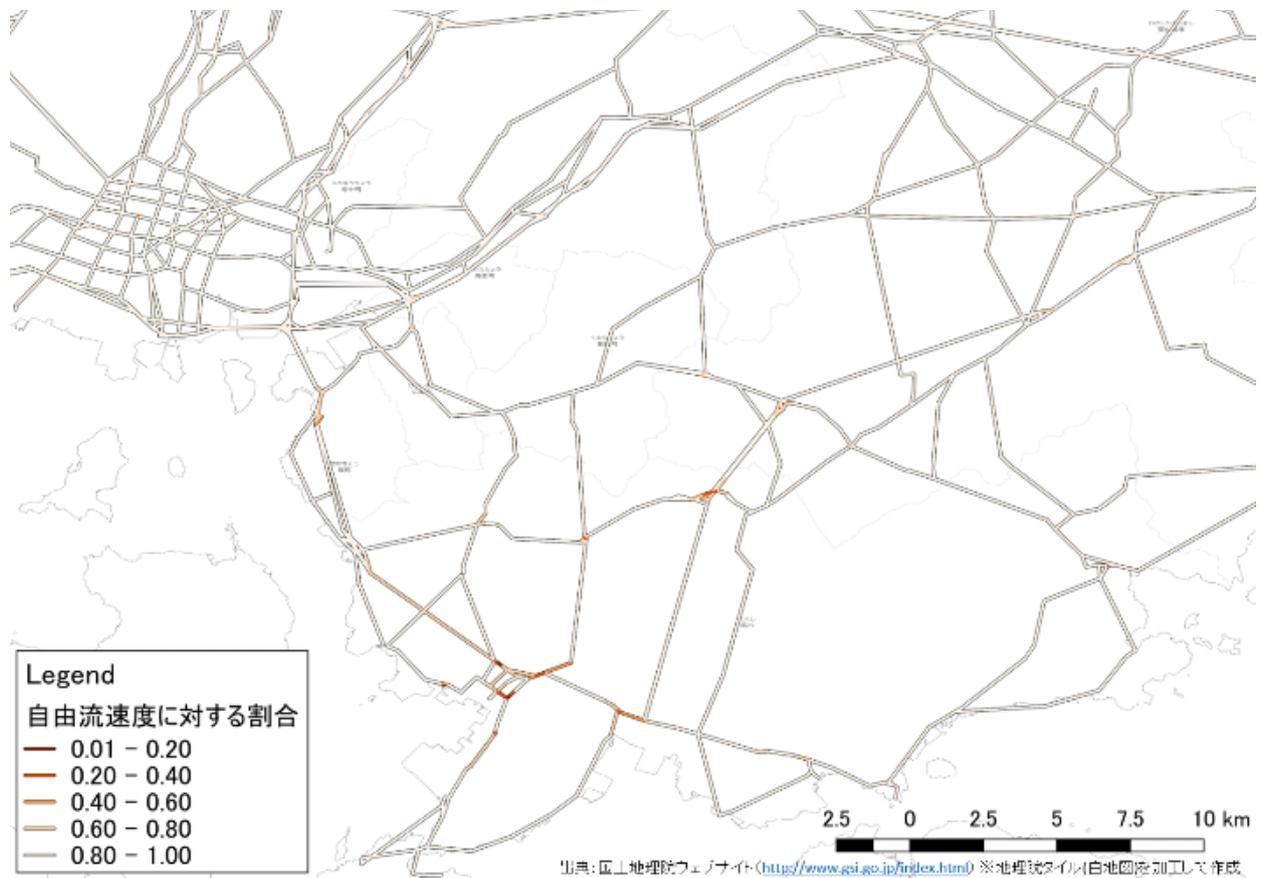


図-8 平時の平均旅行速度

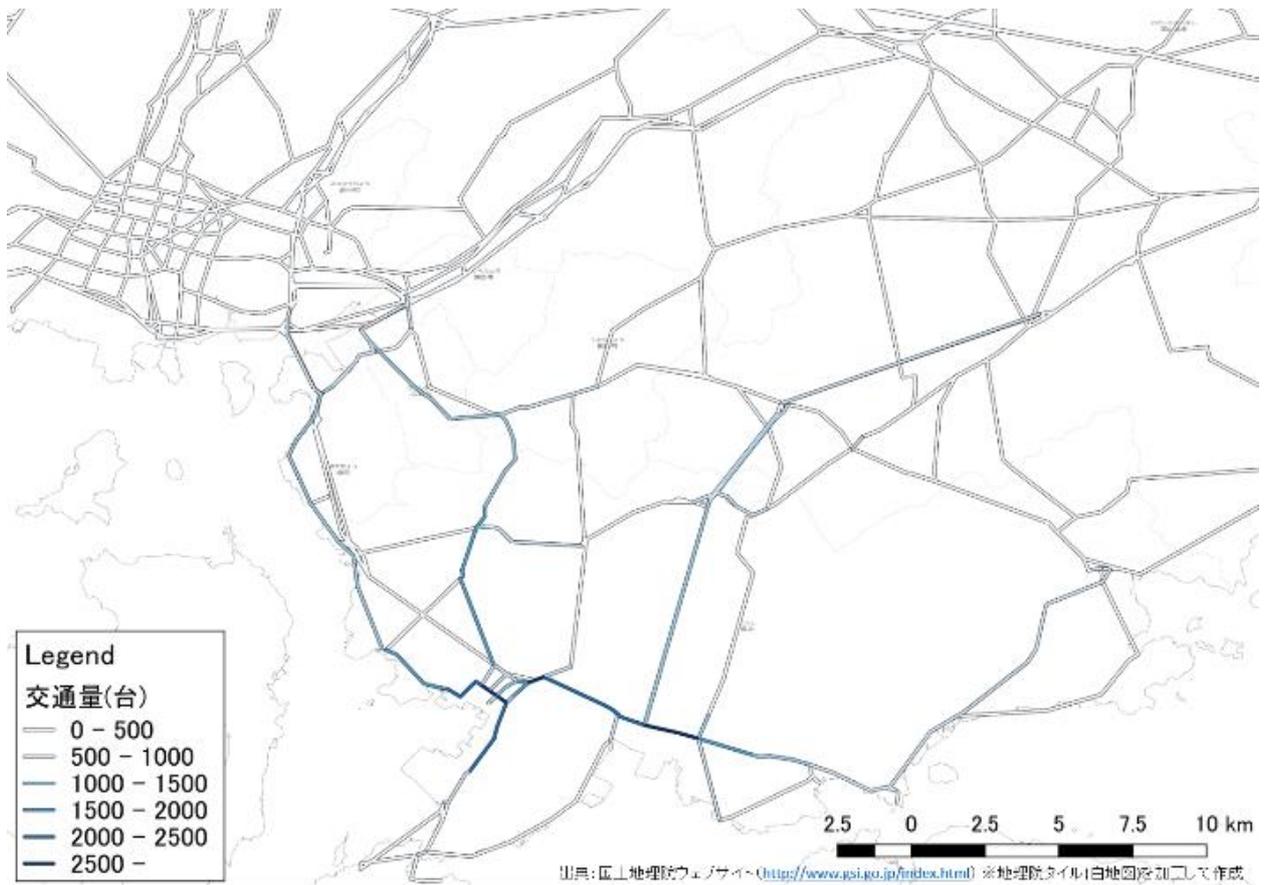


図-9 災害復旧期の交通量

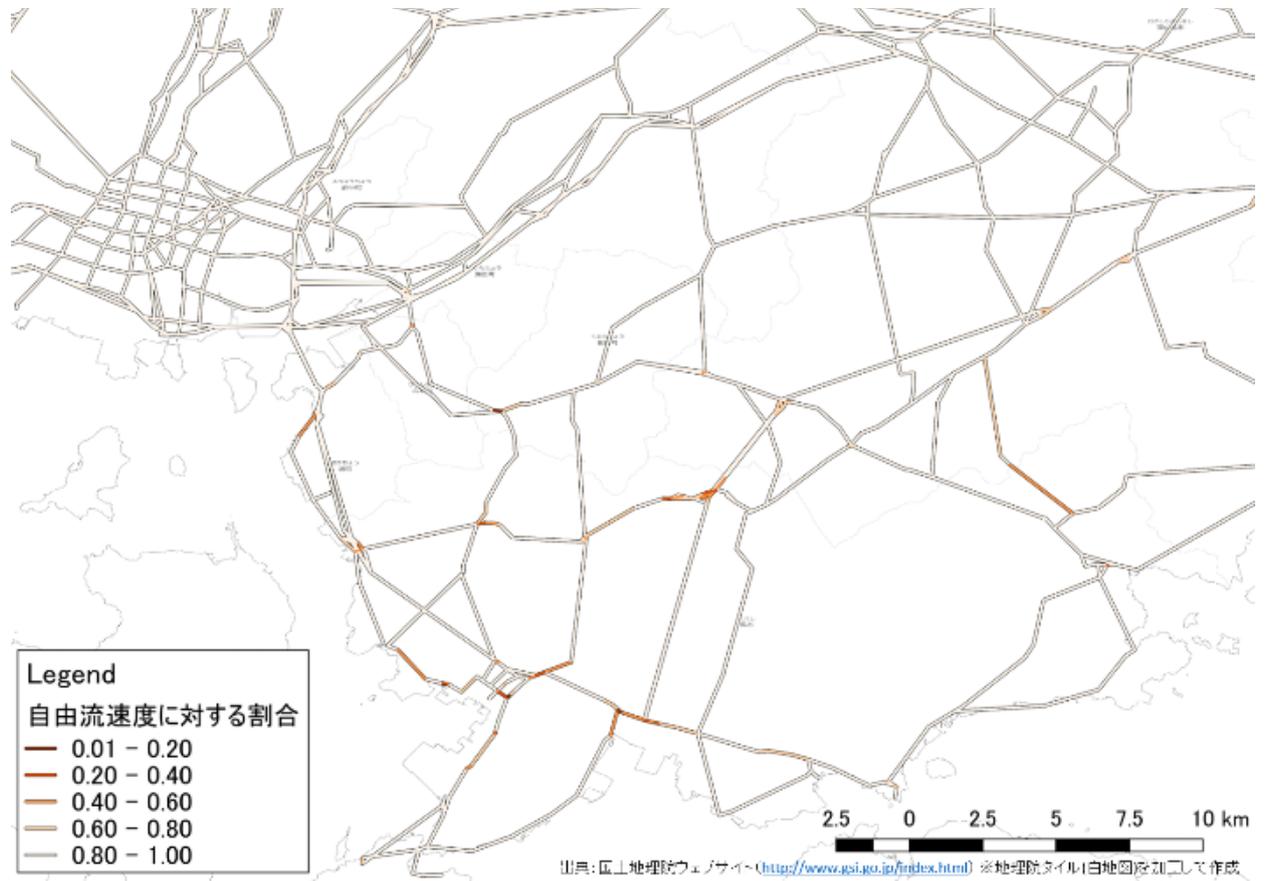


図-10 災害復旧期の平均旅行速度

5. 考察と今後の課題

本研究では、広島市と呉市周辺のネットワークデータと交通需要データ、ならびに災害復旧期の通行止め情報と車両感知器データを用いて、平時および平成30年7月豪雨後の災害復旧期を模した入力データを作成し、それを用いてDUE配分を平時および災害復旧期について行った。2つの結果を比較すると、広島と呉を結ぶ主要道路である広島呉道路の通行止めにより、災害復旧期には迂回路である国道31号線と山間部の経路上の交通量と混雑が増加していることがわかった。

今回、DUE配分により得られた結果の最大の特徴は、通行止めによる迂回交通の相当量が山間部の経路上に配分されているところにある。確たる証拠はないものの、実態と比べると、おそらく、山間部の経路への迂回を過大に推計している可能性がある。もしこれが正しかった場合は、例えば、ドライバーが迂回路を認知するのに時間を要した、あるいは単に、本研究における迂回路の走行費用の見積りに問題があった、等の理由が考えられよう。ただし、前者については、2016年4月の熊本地震後には、発災後数日の単位で迂回路の使用を試みるドライバーの存在を示唆するデータがある²³⁾ことにも注意しなくてはならない。

結果の解釈の際には、入力情報として用いたOD交通量が平時のものであることに留意しなくてはならない。今回の結果を見ると、災害復旧期に慢性的な交通混雑を起こしていた国道31号線における天応や小屋浦あたりの速度低下が十分には再現できていない。これは、交通容量の設定や前述の迂回交通の再現性の問題のほか、災害時に新たに発生したOD交通量が考慮されていないことも原因と考えられよう。力石ら¹⁴⁾は、平成30年7月豪雨後に、災害対応の拠点と被災地を行き来する短距離交通の増加が旅行時間の増加に影響していたことを述べている。このことから、より正確な災害復旧期の再現には、当時の交通需要を再現するOD交通量データの入力が必要であると考えられる。

今後の課題について述べる。交通容量の設定については、特に被災箇所についてはできるだけ正確な値を用いることが望ましいが、本研究では仮の値を設定しているのみである。発災後に迅速にボトルネックを発見しその容量を推定する方法論の開発が望まれる。これにはETC2.0等のプローブデータの活用が有用であろう。交通需要はもとより、容量や合流比など、交通流に関するパラメータの正確性についての課題は多い。ただ、災害後の復旧期の交通量配分については、例えば費用便益分析に求められる正確性よりも、災害後の意思決定に資するに足る結果を迅速に計算することのほうがより望まれると考えるべきであろう。この観点から、本研究で行っ

たDUE配分とそのためデータセットの構築に関する改良点を検討することが必要であろう。

謝辞: 本研究で用いたデータの入手やその解釈に当たり、中国地方整備局、広島県警、「広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会」メンバーの方々、広島大学力石真准教授、立命館大学塩見康博准教授の協力を得た。また、本研究の一部は、新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：AI 技術に基づく短期交通予測手法と総合的な交通需要マネジメントの研究開発」の一環として実施したものである。また、本研究で用いたソフトウェアであるFastDUEは、「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発（文部科学省）」の重点課題（3）「地震・津波による複合災害の統合予測システムの構築」のサブ課題 B「統合的予測のための社会科学シミュレーションの開発」で開発をしているものである。

参考文献

- 1) 朝日新聞：広島呉道路が土砂崩れで崩落 復旧に時間要す見込み, <https://www.asahi.com/articles/ASL786VMGL78PITB00P.html>, (2018/12/21 閲覧)
- 2) THE SANKEI NEWS：【西日本豪雨】渋滞解消へバス専用レーン 災害・緊急車両も走行 広島・坂町, <https://www.sankei.com/west/news/180809/wst1808090024-n1.html>, (2019/1/10 閲覧)
- 3) THE SANKEI NEWS：【西日本豪雨】鉄道不通や道路通行止め長期化 渋滞慢性化で被災者疲弊 台風も…, <https://www.sankei.com/west/news/180728/wst1807280010-n1.html>, 2019/1/10 閲覧
- 4) JR 西日本：「西日本豪雨（平成 30 年 7 月豪雨）」に伴う運転状況などについて（2018 年 9 月 11 日時点）, https://www.westjr.co.jp/press/article/2018/09/page_13029.html, (2019/10/1 閲覧)
- 5) NEXCO 西日本：広島呉道路の通行止め解除について, <https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/hq/h30/0927>, (2019/10/1 閲覧)
- 6) Iryo, T, Urata, J., Fukuda, K., Peque, G. Jr. Petprakob, W., and Wijerathne, L., Fast calculation of dynamic traffic assignment by parallelised network loading algorithm, ISTS and IWTDCS 2018, Matsuyama, Japan, 2018.
- 7) 塚田幸広, 桐山孝晴, 保久原均, 濱谷健太:道路の交通容量における新しい設計法に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料第 317 号, 2006.3.
- 8) NEXCO 西日本：高速道路簡易料金表, https://www.w-nexco.co.jp/search/price¥_list/pdfs/chugoku/compact¥_02.pdf, (2019/1/10 閲覧)
- 9) 広島高速道路公社：車種区分・料金, https://www.h-exp.or.jp/fare/3¥_001.html, (2019/1/10 閲覧)
- 10) NEXCO 西日本, 高速道路簡易料金表, https://www.w-nexco.co.jp/search/price¥_list/pdfs/chugoku/compact¥_05.pdf, (2019/1/10 閲覧)
- 11) 広島県道路公社：料金表, <https://www.hprc.or.jp/ryokin.html>, (2019/1/10 閲覧)
- 12) 国土交通省：走行時間短縮便益の計算方法について,

- <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/2.pdf>, (2019/10/1 閲覧)
- 13) 広島県ホームページ：主な道路の通行可能区間のお知らせ, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/97/trafficmap.html>, (2018/12/21 閲覧)
- 14) 力石 真, 浦田 淳司, 吉野大介, 藤原章正: 交通ネットワーク被災時の発生・集中・内々交通量及び旅行時間の変動特性, 土木学会論文集 B1(平成 30 年西日本豪雨災害特別企画), 登載決定.
- 15) Kittler, J. and Illingworth, J. : Minimum error thresholding, *Pattern Recognition*, Vol. 19, No.1, pp. 41-47, 1986.
- 16) 白石智良, 赤羽弘和, 小根山裕之, 田中伸治: 都市高速道路における臨界速度の自動設定法の開発とボトルネック容量分析への適用, 第 32 回交通工学研究発表会論文報告集, CD-ROM, 2012.
- 17) 坪田隆宏, 吉井稔雄, 原田日郎, 神野裕昭: 一般道路における路線 QV 式を用いた速度推定モデル, 交通工学論文集, Vol. 4, No. 1, pp. A_216-A_222, 2018.
- 18) 警視庁: 交通情報の提供に関する指針, 平成 14 年国家公安委員会告示第 12 号, 2001/4/26.
- 19) 広島県: 平成 30 年 7 月豪雨災害に伴う有料道路の通行料金について, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/97/disaster01.html>, (2019/10/1 閲覧)
- 20) 小根山裕之, 桑原雅夫: 路側観測交通量からの時間変化する OD 交通量の推定, *交通工学*, Vol.32, No.2, pp. 5-16, 1997.
- 21) 小林正人, 堀口良太, 花房比佐友, 小出勝亮: ネットワーク交通シミュレーションのための時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータ一括推定プログラムの開発, 第 32 回交通工学研究発表会講演論文集, 2012.
- 22) 飯島護久, 福本大輔, 桑原雅夫: 首都圏ネットワークにおける動的シミュレーションの適用可能性, 第 27 回日本道路会議論文集, 2007.
- 23) 桑原雅夫, 原祐輔, 三谷卓摩, 川崎洋輔, 竹之内篤, 井料隆雅, 浦田淳司: 熊本地震における都市内交通、避難の実態と課題, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 54, 2016.

(2019/10/4 受付)

Evaluation of Traffic Congestion in Hiroshima Metropolitan Area after the Heavy Rain Event of July 2018 by Dynamic User Equilibrium Assignment

Taiga MATSUBARA, Junji URATA and Takamasa IRYO