

プローブカーデータを用いたリンク途絶が交通ネットワークに及ぼす影響の経時的分析

嶋本 寛¹・八尋 久志²

¹正会員 宮崎大学准教授 工学部社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)
E-mail:shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

²非会員 株式会社江橋設計 (元宮崎大学工学部) (〒880-0852 宮崎市高洲町197番地1)

2013年11月1日に宮崎市の中心部に架かる小戸之橋が閉鎖され、激しい交通渋滞が生じた。本研究では、成熟社会を迎え時間の価値が高まる中で安定的な交通サービスの提供が求められていることに着目し、閉鎖前後1ヶ月間のプローブカーデータから得られるリンク旅行時間をメッシュ単位で集計し、小戸之橋閉鎖前後の旅行時間分布を経時的に算出する。さらに、旅行時間分布のデータを自己組織化マッピングにより類型化し、閉鎖による影響が類似するメッシュの特性を分類することで閉鎖による影響を明らかにする。分析の結果、小戸之橋閉鎖直後の11月1週目に旅行時間信頼性が低下するメッシュも存在する一方で、11月1週目の旅行時間信頼性が改善するメッシュも存在することがわかった。さらに、小戸之橋閉鎖による影響のメッシュによる違いについて分析した。

Key Words : *network disruption, travel time, travel time reliability, probe car data, Self-Organizing Maps*

1. 序論

宮崎都市圏の中央には、一級河川である大淀川が流れており、9本の道路橋と1本の鉄道橋が架かっていたが、このうちの1本の道路橋である小戸之橋が、老朽化にともなう立て替えのために2013年11月より閉鎖された。閉鎖直後には、平行する橋の交通量が急増して特に大淀川付近の多くの道路区間において激しい渋滞が発生したが、時間が経過するにつれて閉鎖直後ほどの激しい渋滞は発生しなくなった。これは、ドライバーが学習を繰り返すことによって順応行動を取ったためであると考えられる。今後は日本のみならず世界中で老朽化した道路構造の更新による長期間に渡るリンク途絶が発生することが懸念されているが、その影響を事前に予測するためにも小戸之橋閉鎖にともなうドライバーの順応行動や、それによる旅行時間の経時変化を把握しておくことは肝要である。リンク途絶による影響を把握するためには、道路ネットワークの面的な交通状況を把握することが必要である。これまで交通検知器などの点における情報しか入手できなかったが、近年のITS技術の進展によって車両の走行位置情報を逐一記録するプローブカーシステムが実用化されており、面的な交通状況の観測が可能

となっている。詳細に観測されるデータを活用して、旅行時間の平均値だけでなく変動も考慮してネットワークの性能を評価するという旅行時間信頼性分析が高速道路のみならず一般道路に対しても行われている。

以上を踏まえて、本研究は小戸之橋閉鎖前後1ヶ月のプローブカーデータとデジタル道路地図データを用いて、小戸之橋閉鎖が交通に及ぼす影響を面的に評価することを目的とする。

本論文の構成は以下の通りである。まず、1.では研究の背景と目的を述べた。2.においては、既往研究を整理するとともに、本研究の位置づけを明らかにする。3.において使用するデータとその集計方法について述べた後、4.において小戸之橋閉鎖の影響分析を行う。最後に、5.において本研究で得られた成果を整理するとともに、今後の課題をとりまとめる。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本研究では、前述したように小戸之橋閉鎖が道路交通に及ぼす影響を評価するものであるが、特に閉鎖前後の旅行時間信頼性の変化に着目して分析を行う。旅行時間

信頼性とは、平均的な旅行時間の短縮効果だけでなく、常にある時間の範囲内で目的地に到達できるという安定的な交通サービスの提供が求められている中で、旅行時間の不確実性も考慮した評価方法のことである。中山¹⁾が旅行時間信頼性に関する研究を包括的にレビューしているが、その1つのアプローチとして信頼性指標を算出するものがある。米国交通総道路局²⁾では、旅行時間の95パーセンタイル値である Planning Time (PT)、PTを自由流旅行時間で正規化した Planning Time Index (PTI)、PTと平均旅行時間の差である Buffer Time (BT)およびBTを平均旅行時間で正規化した Buffer Time Index (BTI)の4つの指標を用いて旅行時間信頼性を評価している。また、山崎³⁾らは ETC データを活用して都市間高速道路の旅行時間信頼性の区間比較を行っている。彼らは BTI、距離が異なる区間の旅行時間信頼性の比較には適していないことを指摘した上で、BTを区間距離で除した $BT / Dist$ という指標を提案している。また、van Lint⁴⁾は外れ値や観測誤差の影響を受けやすい分散や歪度の代わりに、 λ^{ver} や λ^{skew} という指標、およびそれらをあわせた UI_r という指標を提案している。一方、旅行時間信頼性指標の算出には詳細な交通状況の把握が必要であるが、プローブカーデータを用いたより詳細な交通状況の把握が期待されている。例えば桑原⁵⁾は車両検知器が設置されていない区間の交通情報をプローブカーデータにより補完することで、走行する全車両の走行距離を推定し適用性の検証を行っている。しかし、プローブ機器を搭載した車両が増加しているとはいえ、特に経路数の多い一般道においてすべての道路区間で十分なデータ数を確保できるとはいえない。そこで、関谷⁶⁾は一般道においてプローブカーデータの取得データ数と旅行時間信頼性指標の信頼性との関係について分析している。

本研究はリンク途絶が交通に及ぼす影響について分析するものであるが、同様の事例として、2007年8月に米国のミシシッピ川にかかる I-35W の道路橋の崩落が挙げられる。このときの交通の影響分析として、Shanjiang Zhu⁷⁾は車両検知器のデータとアンケート調査による利用者の対応行動データを用いて、リンク途絶による影響の分析を行っている。さらに、Xiaozheng He⁸⁾は崩落前後の交通感知器データを用いて、交通ネットワークが大きく変化したときの利用者の経路利用の学習過程をより正確に表現できる "prediction-correction model" を提案している。しかし、これら一連の研究は流出入が限定された高速道路を対象としており、またデータの制約上分析対象範囲をネットワークの一部に限定しているのに対し、本研究では一般道路を対象に面的にリンク途絶の影響を分析する点で異なっている。

3. 分析対象データおよび集計方法

(1) 分析対象データ

本研究では、2013年11月、2013年10月の2ヶ月間のプローブカーデータを用いる。サンプル数はそれぞれ116,994件、94,804件である。2013年11月でのデータが存在するリンク数は5,903リンクであり、プローブカーデータからは、発着ノードが存在する2次メッシュ番号、流入ノード番号、流出ノード番号、流入時刻、旅行時間平均、旅行時間偏差、リンク長などを知ることができる。個人情報の観点から流入時刻は15分ごとに集計した時刻となっており、したがって旅行時間平均は15分ごとの平均となっている。

分析対象エリアは、図-1に示す通り第2メッシュ4731-63、4731-73とし、小戸之橋周囲の2次メッシュに含まれるノードを発着点とするトリップを対象とする。

(2) 集計時間幅の設定

旅行時間が変動する主な要因としては、交通需要の増減にともなう速度変化と個別車両間の運転特性の差違の2つを挙げることができる。本研究では、小戸之橋閉鎖による「平均的な」利用者が経験する旅行時間の経時的変化を分析することを目的とし、後者による変動は考慮しないものとする。したがって、山崎³⁾と同様にある集計時間単位ごとの旅行時間平均値の分布形にもとづき評価を行う。本研究で用いるプローブカーデータは、15分単位に集計されたものであるため、旅行時間平均を算出するための集計時間単位も15分に設定する。

(3) 分析対象時間帯の設定

一般に時間帯によって交通需要が変動するため、旅行

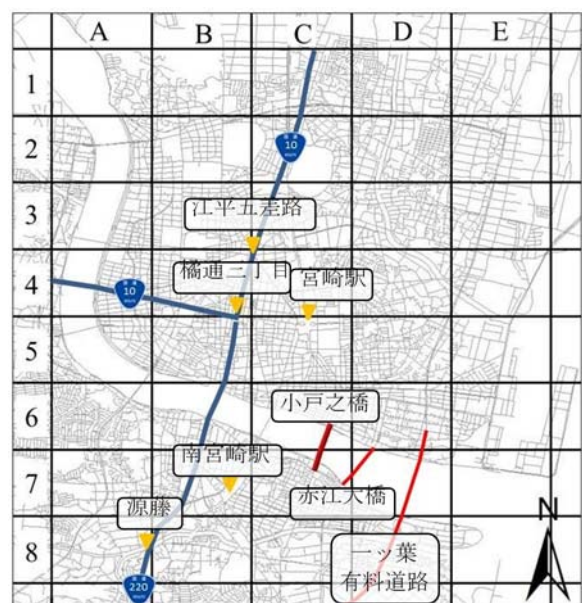


図-1 分析対象エリア

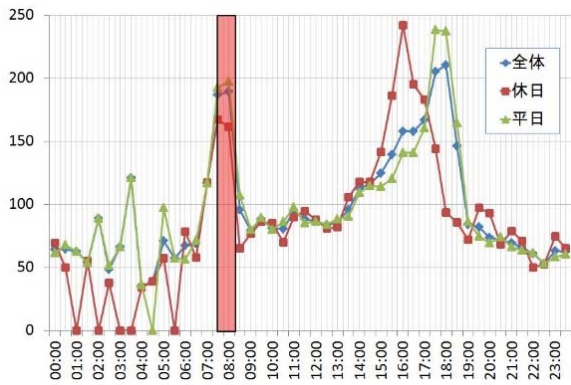


図-2 2013年11月における平均旅行時間の推移

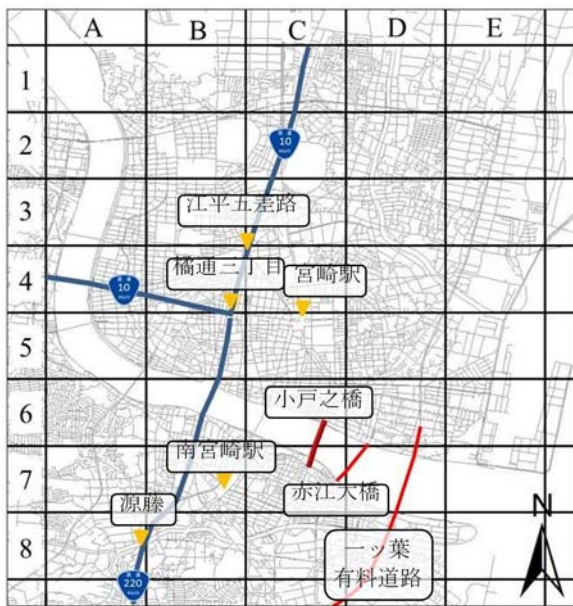


図-3 分析単位のメッシュ

時間も変動するため、時間帯を区切らずに旅行時間の変動を分析すれば、小戸之橋通閉鎖の影響と交通需要の変動による影響が区別できない。したがって、本研究では特に朝ピーク時を対象に分析をすすめる。図-2に宮崎ICから源藤交差点までの9リンクの30分ごとの旅行時間の集計値を示す。縦軸が旅行時間の合計であり、旅行時間が0秒の点はデータが欠損しているリンクである。図-2を見ると7:30~8:30の旅行時間が他の時間帯よりも大きく、朝ピーク時と見なし分析対象時間帯とする。また、平休日による変動の影響も除去するため、平日のデータのみを使用する。

(4) 分析単位メッシュの設定

分析に利用するプローブカーデータのリンク単位の走行件数を確認したところ、主要国道以外の多くのリンクで走行台数が少なく、算出される値が実際の交通状況を反映しない偏った値になる可能性があると考えられる。そのため、図-3に示すように宮崎市中心部を含む縦8km、横5kmを1km四方の40個のメッシュに分割し分析を行う。

なお、メッシュ境界上のリンク、始点と終点が別々のメッシュに含まれるメッシュは集計に含んでいない。

メッシュ内のリンク長がリンクにより異なるため、リンク所要時間を直接比較することはできないため、15分平均旅行時間をリンク長で除して正規化する。メッシュ内で集計されたリンクをリンク長で正規化された値の平均値をそのメッシュの信頼性指標 $T_{ave}/Dist$ [秒/m]、また95%タイル値を $T_{95}/Dist$ [秒/m]とする。

以後、特定のメッシュを示す際には例えば小戸之橋の北側のメッシュはMesh.6-Cのように表記する。

(5) 経時的なデータ集計単位の設定

小戸之橋閉鎖の影響を経時的に評価するためには、日単位の変動を分析することが望ましいが、1日当たりのデータ数が少なくなるという問題が生じる。そこで、データ数も勘案して、閉鎖前の2013年10月は1ヶ月間のデータをプールするが、閉鎖後の11月は週変動も分析できるよう平日1週間(5日)ごとにデータをプールして、分析を行うことにする。

4. 小戸之橋閉鎖による影響分析

本章では、第3章で述べた方法に従って集計したデータを用いて、小戸之橋閉鎖が旅行時間に及ぼす影響分析を行う。

(1) 分析の考え方

前章で述べたデータ集計方法により、メッシュごとに2013年10月の1ヶ月間および11月の1週間ごとの $T_{ave}/Dist$ 、 $T_{95}/Dist$ を得ることができる。本研究では、これらの経時データを類型化し、閉鎖による影響が類似するメッシュの特性を分析することにより、小戸之橋閉鎖が旅行時間に及ぼす影響を明らかにする。

(2) 自己組織化マッピングによるメッシュの類型化

a) 自己組織化マップの概要

本節では、自己組織化マッピング (SOM: Self-Organizing Maps) ⁹⁾を用いて各メッシュを、閉鎖前及び閉鎖後の1週間ごとの $T_{ave}/Dist$ 、 $T_{95}/Dist$ によりメッシュを類型化する。自己組織化マッピングとは多くの属性を持つ多次元のデータを、教師なし学習を行うことにより対象の属性すべてを2次元のマップに写像する手法である。クラスター分析などの分類手法はデータが線形構造であることを暗に仮定しているが、自己組織化マップは高次元のデータ間に存在する非線形な関係を低次元空間に写像することが可能であるという特徴を有している。土木計画学の分野では松本ら ¹⁰⁾が自己組織化マッピングを用いて、伝統的建造物保存地区を通りの特徴ごと

に分類している。

b) メッシュの類型化

閉鎖前及び閉鎖後の 1 週間ごとの $T_{ave}/Dist$, $T_{95}/Dist$ を入力データとして自己組織化マッピングによって得られた特徴マップを図-4 に示す。図-4 において、六角形の点（ノード）が分析に用いたメッシュを表している。また、ノード間を結ぶリンクの色がメッシュ間の類似度を表しており、色が薄いほど隣接するノード間の類似度が高く、色が薄いほど類似度が低いことを表している。図-4 を参考に、図-5 のように分析対象のメッシュは 8 グループと、どのグループとも類似しない 4 つの独立ノードに類型化した。なお、図-5 においてノードのみが表記されており、また色の濃いノードは分析に用いたメッシュが存在するノードを表している。また、図-6 は類型化した結果を図示したものである。次節では、各グループの特性について考察を行う。

c) グループ特性の考察

図-7 に、自己組織化マッピングにより分類した各グループの週ごとの変動を示す。実線が $T_{95}/Dist$ を、点線が $T_{ave}/Dist$ を示しており、線とマーカーが同じものは同一のメッシュである。

まず、 $T_{ave}/Dist$ の $T_{95}/Dist$ との差を比較することにより、各グループの旅行時間信頼性について考察する。両者の差が大きく信頼性の低いグループは、Group.1, 2, 4 であり、逆に差が小さく信頼性の高いグループは Group.7, 8 である。Group.7 では、すべての期間にわたって $T_{ave}/Dist$, $T_{95}/Dist$ とともに他のグループよりも小さく、混雑は生じていないといえる。Group.8 では、11月1週目に入ると $T_{95}/Dist$ の値が低下しており、小戸之橋の閉鎖によりむしろ信頼性が向上しているといえる。図-6 を見ると、Group.8 には小戸之橋に通じる県道 337 号線を含む Mesh.8-C や、県道 11 号線を含む Mesh.2-E, Mesh.5-D などが含まれる。

次に、週によるばらつきの大きさについて考察する。週によるばらつきの大きいグループは Group.3, 6 であり、逆にばらつきの小さいグループは Group.1, 2, 7 である。Group.1 は国道 220 号線や国道 10 号線など主要幹線道路を含むメッシュで、 $T_{ave}/Dist$, $T_{95}/Dist$ とともに他のグループよりも大きい値をとっており、すべての期間にわたって信頼性は高くないといえる。Group.2 では、11月の1週目で $T_{95}/Dist$, $T_{ave}/Dist$ とともに悪化しており11月2週目で $T_{95}/Dist$ が若干減少しているが、11月3週、4週目に再び増加する傾向にある。

次に、どのグループにも属さない独立ノードの特性について考察する。図-7 より、Node.D では、 $T_{ave}/Dist$ が $T_{95}/Dist$ の値より大きくなる週が存在する、Node.C では

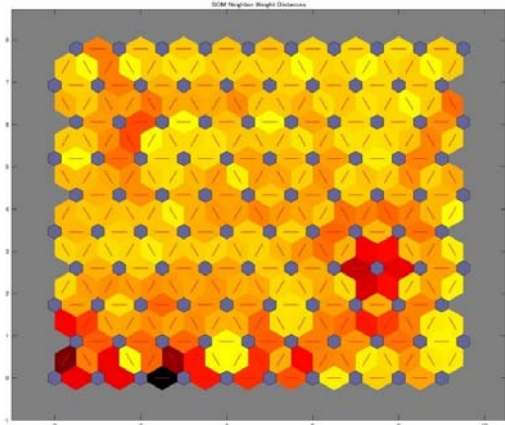


図-4 自己組織化マッピングによって得られた特徴マップ

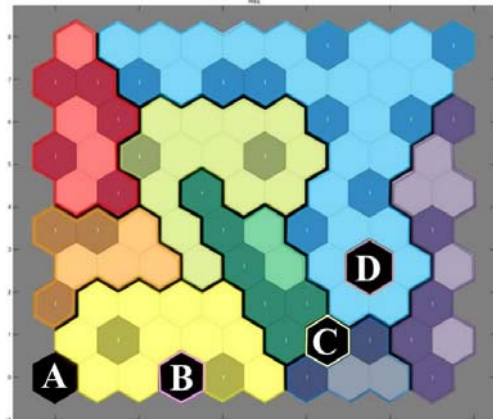


図-5 自己組織化マッピングによるメッシュの類型化

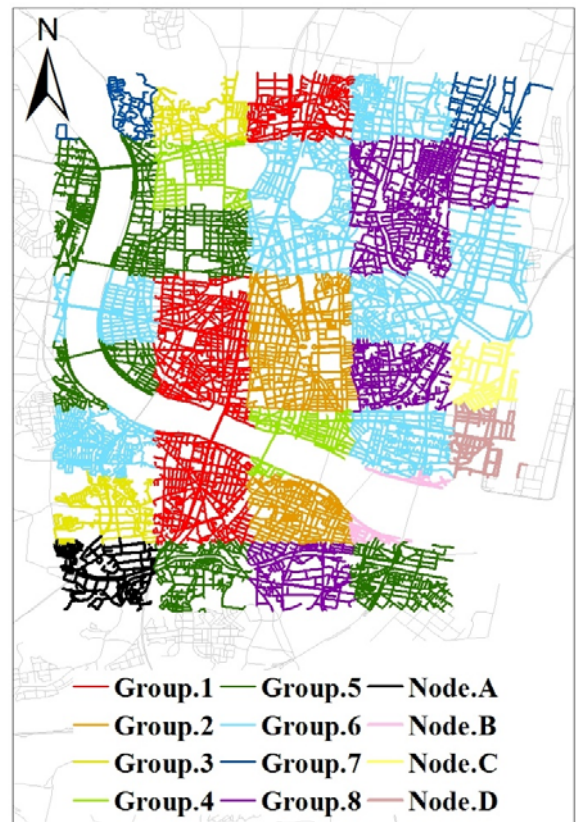


図-6 各グループの位置関係

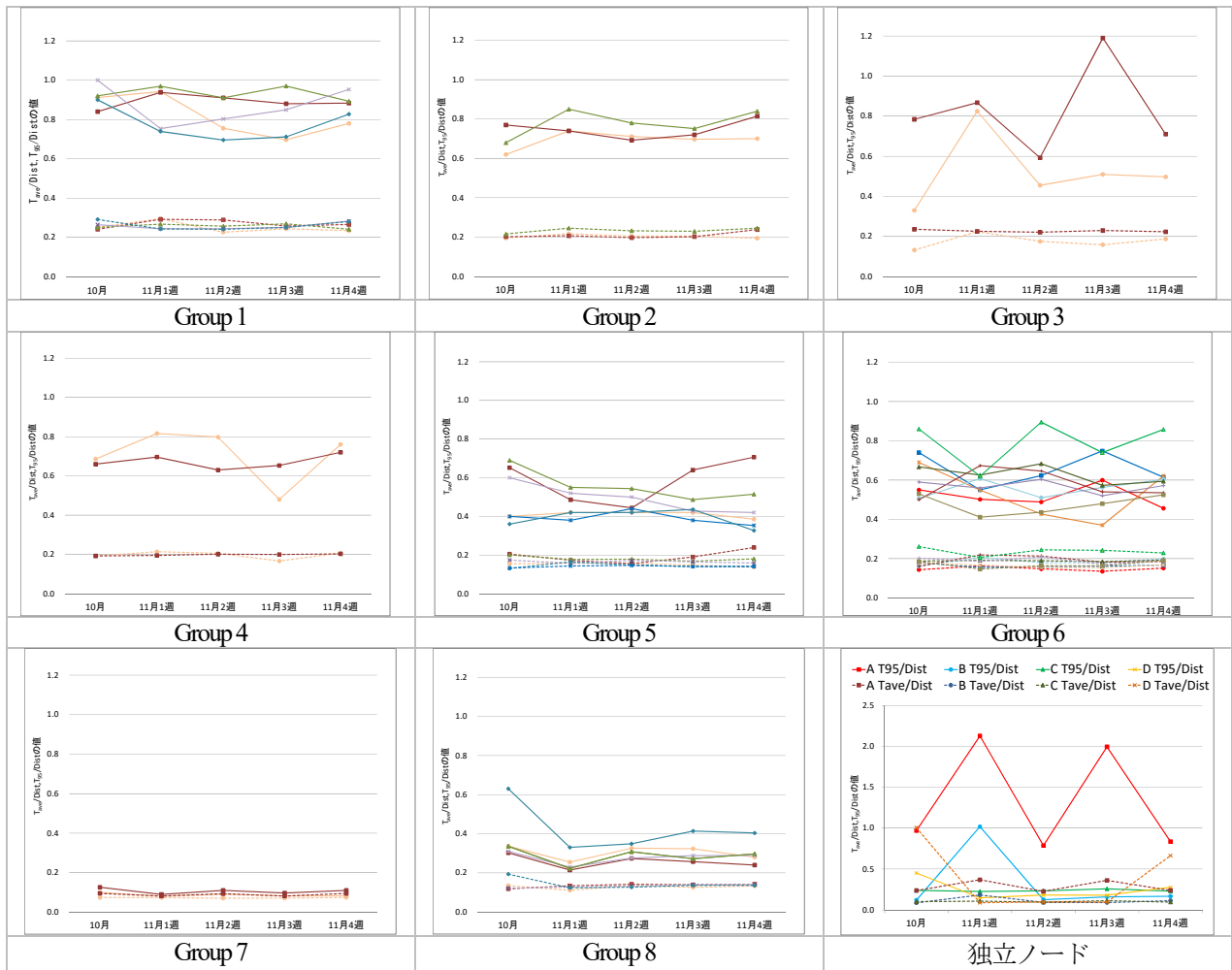


図-7 各グループの位置関係

変動がなく $T_{ave}/Dist$, $T_{95}/Dist$ ともに低い値を維持している。Node.Bも1週目は大きく悪化しているが、他の週はNode.C同様低い値を維持している。図-6よりNode.B, Node.C, Node.DはNode.B, Node.Dは住宅地の割合が高く、Node.Cは宮崎港を含むメッシュであるため、変動がなく値が低くなっているものと考えられる。さらに、Node.Aは、週ごとの変動が大きく11月1週目、3週目で大きく悪化し2週目、4週目には10月に近い値にまで低下している、図-6より、Mesh.8-Aであり、このメッシュは主要幹線道路である国道220号線と国道269号線が交わる交差点を含んでいるため、その影響を受けていると考えられる。

以上の考察から、各グループの特性をまとめる以下のようなになる。まず、国道220号線や国道10号線といった主要国道を含んだメッシュであるGroup.1は、信頼性が高くないものの10月から大きく悪化もしていない。小戸之橋の南側、および宮崎駅南北のメッシュであるGroup.2は信頼性が高くなく、また1週目と4週目に悪化している。Group.3は $T_{95}/Dist$ の週によるばらつきが大きく、信頼性の変動も大きいメッシュである。Group.4はGroup.1またはGroup.2に接続する主要道を有するメッ

シュで、1週目と4週目に信頼性の悪化がみられる。Group.5は主要国道を含まないメッシュであり、橋梁の前後に位置するメッシュが多く、週ごとの変動が大きい。国道10号線や県道11号線など郊外部の主要幹線道路を含むメッシュから構成されるGroup.6は、1週目に $T_{95}/Dist$ の値に改善がみられるグループである。分析対象エリアの遠端部であるMesh.1-A, Mesh.1-Eから構成されるGroup.7は $T_{ave}/Dist$, $T_{95}/Dist$ ともに他のグループよりも小さく、混雑は生じていない。Mesh.8-Cや、Mesh.2-E, Mesh.5-Dなどが含まれるGroup.8は、小戸之橋の閉鎖によりむしろ信頼性が向上していることが確認された。

5. 結論

本研究では、プローブカーから得られるリンク旅行時間データを用いて、小戸之橋閉鎖による旅行時間およびその信頼性の変化を分析した。分析にあたり、データ数を勘案して対象エリアをメッシュ単位に集計し、週ごとに旅行時間分布を作成した。また、高次元のデータ間に存在する非線形な関係を低次元空間に写像することが可能であるという特徴を有する、自己組織化マッピングを

用いて、旅行時間およびその信頼性の経時変化の類似度に応じて類型化した。

分析の結果、旅行時間の変動の大きなメッシュと小さなメッシュにわけることができ、小戸之橋閉鎖にともなう影響が大きいメッシュと小さいメッシュが存在することを明らかにできた。また、旅行時間が変動するメッシュにおいても、小戸之橋閉鎖直後の 11 月 1 週目に旅行時間の 95%タイル値が増加するメッシュも存在する一方で、逆に 95%タイル値が減少して旅行時間信頼性も向上するメッシュも存在することがわかった。

今回の分析ではデータ制約上、対象エリアを旅行時間変動特性が異なると考えられる幹線道路と細街路が混在した状態のメッシュに区切って旅行時間信頼性を評価したが、多様なデータ取得を目指すとともにデータ集計方法について検討を加える余地があるといえる。また、Group. 2 のように 11 月 1 週目の旅行時間信頼性は悪いものの、2 週目と 3 週目の信頼性が改善するグループが存在した一方で、その逆に Group. 8 のように 11 月 1 週目の旅行時間信頼性は悪くないものの、2 週目、3 週目に信頼性が悪化するグループも存在した。これは、ドライバーが経路や出発時間を調整した結果である可能性も考えられるため、小戸之橋閉鎖にともなうドライバーの対応行動について分析する必要があるといえる。

謝辞

分析に用いたプローブカーデータは国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所より提供を受けた。ここに記し、感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 中山晶一朗：道路の時間信頼性に関する研究レビュー，土木学会論文集 D3,67(1),95-114,2011.

- 2) FHWA Report : Selecting travel reliability measures, 2003.
- 3) 山崎浩気, 宇野伸宏, 倉内文孝, 嶋本寛, 小笹浩司, 成田博：ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性に関する研究，土木計画学研究・論文集，25，935-945,2008.
- 4) van Lint et. al.: Travel Time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story, Transportation Res., 42(A), 258-277, 2008
- 5) 桑原雅夫, 大畑長, 瀧川翼, 阿部公一, 今井武：プローブデータと車両感知器データを融合活用した都市間高速道路における交通状態の推定，第 47 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM，2013.
- 6) 関谷浩孝, 諸田恵士, 高宮進：プローブデータの取得状況と旅行時間信頼性指標との関係，論文集土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.70, No.5 (土木計画学研究・論文集第 31 巻), I_559-I_568, 2014.
- 7) Shanjiang Zhu, David Levinson, Henry X. Liu and Kathleen Harder: The traffic and behavioral effects of the I-35 W Mississippi River bridge collapse, Transportation Research Part A, 44, 771-784, 2010.
- 8) Xiaozheng He, Henry X. Liu: Modeling the day-to-day traffic evolution process after an unexpected network disruption, Transportation Research Part B, 46, 50-71, 2012.
- 9) 大北正昭, 徳高平蔵, 藤村喜久郎, 権田英功：自己組織化マップとそのツール，丸善出版，2012.
- 10) 松井宏, 宗本晋作, 山田悟史：自己組織化マップによる空間要素の可視化分析を用いた京都市伝統的建造物保存地区の通りの分類法に関する研究，歴史都市防災論文集 Vol. 8, 223-228, 2014.

(??受付)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF A NETWORK DISRUPTION ONTO TRANSPORTATION NETWORK USING A PROBE VEHICLE DATA

Hiroshi SHIMAMOTO and Hisashi YAHIRO