

# ETC2.0プローブデータを用いた 災害時における経路選択モデルの構築

中野 総士<sup>1</sup>・柳沼 秀樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 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:177t136t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail:yaginuma@rs.noda.tus.ac.jp

地震や洪水などの災害時において、道路リンク遮断等により交通ネットワークは十分な機能を発揮できず、避難や救援・救助に深刻な影響を及ぼす。特に、通行止めや交通規制によって混雑が発生することで相乗的なパフォーマンスの低下が問題となる。そのため、災害時にはドライバーへの情報提供による経路誘導を行うことが必須となるが、災害時の経路選択行動に関する知見は十分とは言えない状況にある。そこで本研究では、2015年9月に発生した関東・東北豪雨を対象に、災害時の経路選択の実態把握と経路選択モデルの構築を試みた。具体的には、ETC2.0プローブデータを用いて鬼怒川堤防破堤時における交通行動の実態を把握した。また、災害時の経路選択データを用いて Recursive Logitモデルを用いた経路選択行動分析を行った。これにより、平時とは異なる災害時特有のシミュレーションが可能となり、防災計画策定に資することが期待される。

**Key Words :** Disaster, ETC2.0 probe data, Route choice behavior, Recursive Logit Model

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

今日に至るまで様々な災害に見舞われてきた日本において、過去の被災経験を教訓にハード的、ソフト的の両面での災害対策がなされてきたが、いまなお課題が存在する。例えば、災害時のドライバーの経路選択実態は各ドライバーの観測が困難であることからその知見は不十分である。そのため、地震や洪水等により道路の遮断や信号機の故障等、走行環境に大きな変化が生じた際にはドライバーに提供する避難情報が十分な効果を発揮せず、避難行動に混乱が生じさせることが懸念される。本研究では2015年9月に発生した関東・東北豪雨を対象に、近年普及が進む ETC2.0 から得られたプローブデータを用いて経路選択実態の把握と経路選択モデルの構築を行い、災害時の経路選択分析を行うことを目的とした。

### (2) 研究の位置づけ

実ネットワークで経路選択モデルを適用して交通量を推定とモデルの適合性を示した研究として、安藤ら<sup>1)</sup>は吉祥寺・三鷹地区と金沢市・尾張町地区の交差点を含む交通ネットワークを対象に、MNLモデル、C-Logitモデル、GEVモデルの3つのモデルで推定を行い、C-Logitモデルが最も現実の交通量に適合した結果を得られることを明らかにした。そして、パラメータ推定では所要時間の逆数×走行の快適性が最も高い適合度が得られること

を明らかにした。また、橋本ら<sup>2)</sup>は ETC2.0 プローブデータの走行履歴データを用いて実道路で利用されている抜け道の特定と抜け道における事故特性についての分析を行い、自動車対自動車事故や自動車単独事故と人対自動車事故は全く異なる事故であることを明らかにした。しかしながら、災害時を対象にプローブデータと経路選択モデルを組み合わせた分析は行われていない状況になる。

本研究では ETC2.0 プローブデータの走行履歴データを用いて、関東・東北豪雨の被害を受けた北関東を対象に各リンクの所要時間を算出し、Recursive Logitモデルによる交通シミュレーションを作成し、災害時の経路選択行動分析を行った。

## 2. データ概要

本研究では、国土交通省が整備を進めているETC2.0データのうち、関東・東北豪雨により越水、決壊が発生した2015年9月10日を含む2015年9月1日から2015年9月11日の期間を対象に分析を行う。以下にETC2.0データの概要を記述する。

ETC2.0 から得られるプローブデータは、主に走行履歴情報と挙動履歴情報に大別される。走行履歴情報は、車両が200m走行もしくは進行方向が45°以上変化する度にデータの取得を行う。取得するデータは、主に時刻、緯度経度、道路種別、速度等の情報である。一方、挙動履歴情報は、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度のどれか1つが一定の閾値を超えた時点でデータを記録して

おり、具体的には時刻、緯度経度、道路種別、速度に加え前後加速度、左右加速度、ヨー角速度等を取得している。本研究では、経路選択行動の分析を目的としているため、個人の1日の行動が明白な走行履歴データを用いる。なお、走行履歴データと挙動履歴データの両方はデータから個人が特定されないような加工が施されており、エンジンをONあるいはOFFを行った地点から500m程度のデータを消去することで出発地と目的地を分からないように処理されている。また各車両を識別するIDは1日単位で変更される仕様となっており、日を跨いだ分析が不可能となっている。

本稿では、関東・東北豪雨により鬼怒川決壊が発生した2015年9月10日のデータと平時のデータを比較することで分析を行うものとする。また、経路データ中に生じた欠損は、トリップ中の一時駐車により前後500mのデータが削除された可能性があるため、1000m未満の欠損は無視するものとする。

### 3. 時間帯別OD交通量の実態分析

関東・東北豪雨による広域での交通行動の変化を確認するために、メッシュ間での移動実態を分析する。具体的な分析対象範囲は、浸水の被害を受けた4つのメッシュとする(図-1)。各メッシュをODとして図中の①から⑧の矢印で定義した交通量を対象とした。また、9月3日を平時、9月10日および11日を災害時として、7時から13時、13時から18時、18時から24時の3つの時間帯でそれぞれ集計を行った。

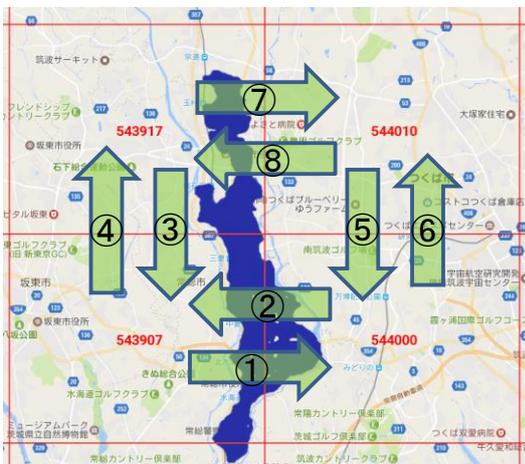


図-1 分析対象メッシュ

#### (1) 7時から13時でのOD交通量

7時から13時の時間帯で各OD交通量を集計した結果を図-2に示す。鬼怒川の堤防が決壊したのが9月10日12時50分頃であり、9月3日と10日のこの時間帯では浸水が起きていないため、浸水域付近の①と②に交通量が存在していることが確認できる。一方、9月10日の③と④の交通量は減少している。この原因として、③と④の移動は鬼怒川と並行した道路が多く存在し、また11時46分には鬼怒川で越水も確認されていたことから、ドライバーの一部は③と④の経路を避けたと考えられる。

#### (2) 13時から18時でのOD交通量

次に、13時から18時の時間帯で集計を行った結果を図-3に示す。この時間帯の特徴として、7時から12時の時点までに確認されていた①と②の交通量が大きく減少している点が挙げられる。また、9月11日の13時頃は浸水範囲が最も広がった時間帯であり、①から④の交通量が大きく減少していることが確認できる。

#### (3) 18時から24時でのOD交通量

最後に、18時から24時の時間帯で集計を行った結果を図-4に示す。この時間帯においても9月10日と11日の①から④の移動は浸水の影響で大きく減少している。

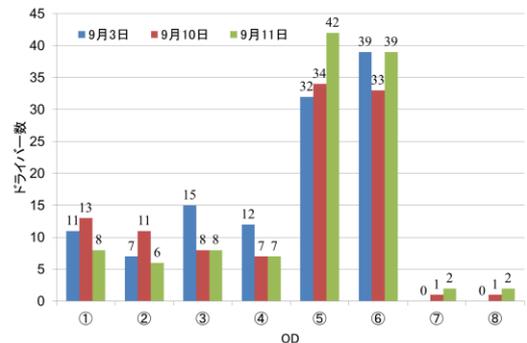


図-2 OD交通量の変化 (7時から13時)

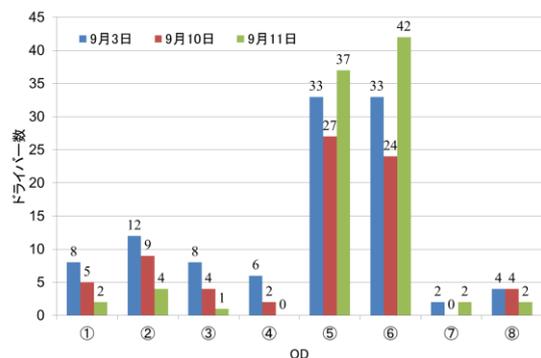


図-3 OD交通量の変化 (13時から18時)

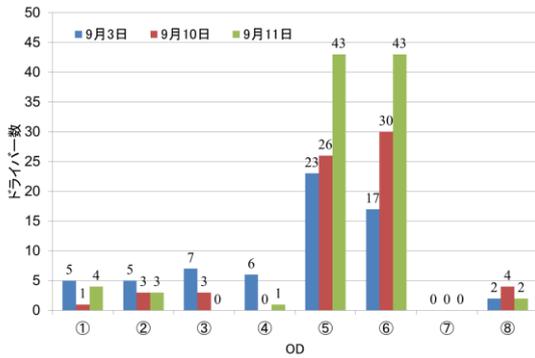


図-4 OD交通量の変化 (18時から24時)

また、⑤と⑥の交通量は平時の9月3日の18時～24時には減少しているのに対し、災害時の10日と11日は昼と変わらない交通量を維持しており、浸水の影響による迂回行動が生じていると推察される。

以上の分析より、浸水による広域迂回の状況をメッシュ単位でのマクロな集計分析から把握することが可能であることが示された。

#### 4. RLモデルを用いた経路選択シミュレーション

##### (1) Recursive Logitモデル

実ネットワーク上の経路選択行動を離散選択モデルで記述する際に生じる問題として、選択肢集合の設定問題、すなわち、すべての利用可能経路の列挙が必要という点が挙げられる<sup>3)</sup>。特に、都市圏のような複雑なネットワークでは全経路パターンを列挙するのは不可能であり、適用は非現実的である。この問題を解決したモデルが本研究で用いるRecursive Logitモデル(以下RLモデル)である。RLモデルは、経路を構成するリンクを選択肢集合とするために全経路の列挙必要性がなく、リンクの選択肢集合だけで経路選択確率が計算可能である。

選択確率 $P^d(a|k)$ はロジット型で式(1)のように表される。経路の選択確率はリンク選択確率の直積で求められ、式(2)のように表される<sup>4)</sup>。

$$P_n^d(a|k) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a|k) + V_n^d(a))}}{\sum_{a' \in A(k)} e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a'|k) + V_n^d(a'))}} \quad (1)$$

$$P(\sigma) = \prod_{i=0}^{l-1} P(k_{i+1} | k_i) \quad (2)$$

ここで、 $v(a|k)$ はリンク $k$ を選択したドライバーが次に移動するリンクとしてリンク $a$ を選択する場合の効用で「瞬時の効用」として定義される。 $V_d(a)$ はリンク $a$ 以降の終点までの期待効用で価値関数として定義される。

ドライバーはこの瞬間効用と価値関数の2つが最大となるリンクを選択すると考える。

##### (2) シミュレーション条件の設定

鬼怒川堤防破堤箇所周辺を対象に、9月3日と9月11日の走行履歴データを用いた経路選択シミュレーションを行った。分析ネットワークは走行実績データから通行実績のある主要道路リンクを中心に構築した。

本研究ではRLモデルに与える瞬間効用として、走行履歴データから算出した平均リンク旅行時間を用いた。

$$v_n(a|k) = \beta TT_a \quad (3)$$

ここで、 $\beta$ はパラメータ、 $TT_a$ はリンク $a$ の平均リンク旅行時間である。

以降のシミュレーション分析では、東西方向と南北方向の2つのODペアを設定して、災害前の9月3日と災害直後の9月11日で各リンクに配分される交通量の変化を分析する。なお、OD交通量は1000台と仮定した。

##### (3) 東西ODペアでのシミュレーション分析

###### a) リンク設定と平均リンク所要時間

東西方向のODとして、始点を古河駅入口交差点、終点を土浦北ICとし、図-5に示すような分析ネットワークを設定した。なお、リンク7は常磐自動車道である。

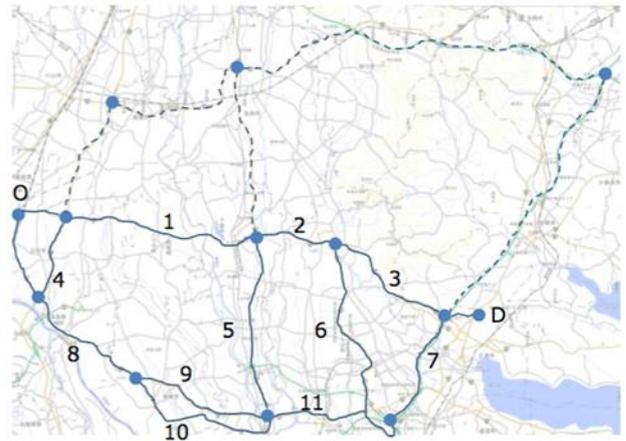


図-5 東西方向の分析ネットワークと OD 設定

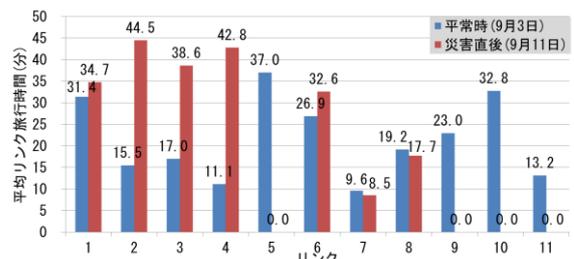


図-6 東西方向ネットワークの平均リンク旅行時間

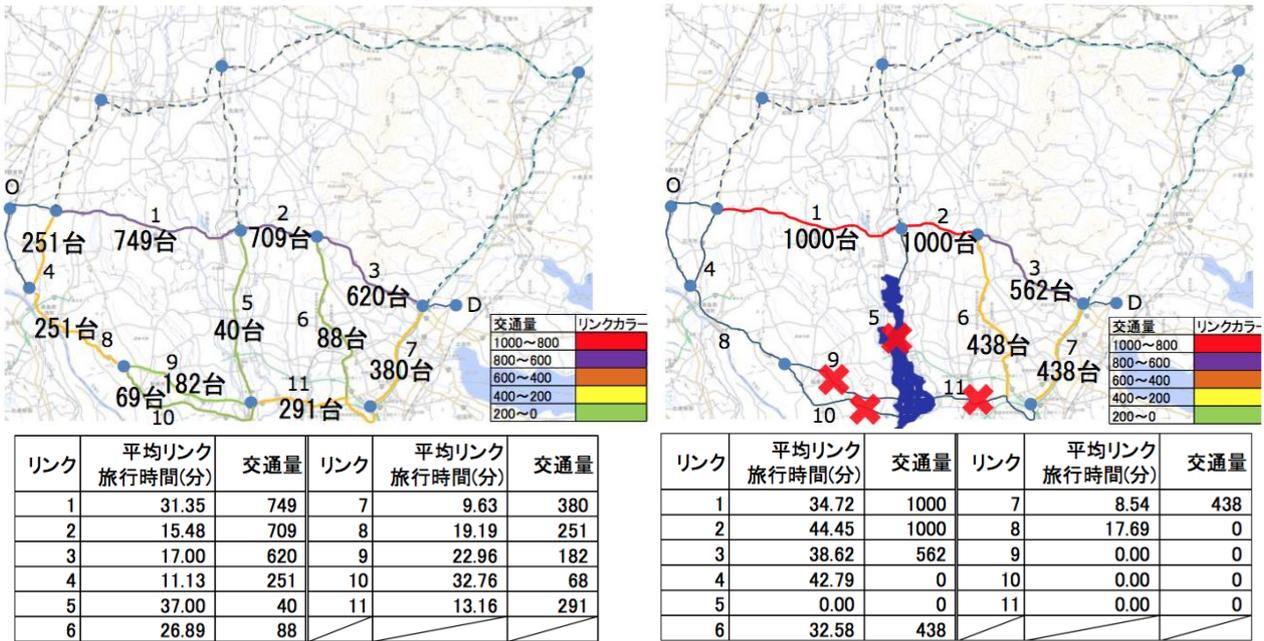


図-7 東西方向でのシミュレーション結果

ETC2.0プローブデータから算出した平均リンク旅行時間は図-6に示す。平均リンク旅行時間を見ると、リンク5, 9, 10, 11の旅行時間が0となっており、これらのリンクは浸水によるリンク途絶状態にあると考えられる。また、浸水の被害を受けていないリンクでは災害前の9月3日においては平均21.0分であるのに対して、災害直後の9月11日では平均27.4分となり、災害前に比べて災害直後の旅行時間が遅くなっており、渋滞による速度低下が発生していると推察される。

て大きくなっており、鬼怒川破堤部分より北側の上流範囲においても災害直後には旅行速度の低下が発生していたと推察される。また、浸水の被害を受けていないリンクでは、9月3日においては平均18.7分、9月11日では28.9分であった。東西方向の9月3日の平均が21.0分であることから、南北方向のネットワークでは平常時の旅行時間が2分ほど早くなっている。これは、高速道路リンク2, 5, 12を分析ネットワークに加えているためであると考えられる。

b) シミュレーション結果

平常時ならびに災害時のシミュレーション結果を図-7と示す。平常時（図-7の左側）ではリンク1, 2, 3に交通量の約7割が集中しているが、全てのリンクが利用されている。一方、災害時（図-7の右側）のネットワークにおいては、リンク5, 9, 10, 11が浸水により途絶したことにより、リンク1, 2に全ての交通量が集中している。また、平常時と比べてリンク6と7の交通量が増加しており、時間帯別のOD交通量実態分析で確認された南北方向の迂回行動と一致することを確認した。

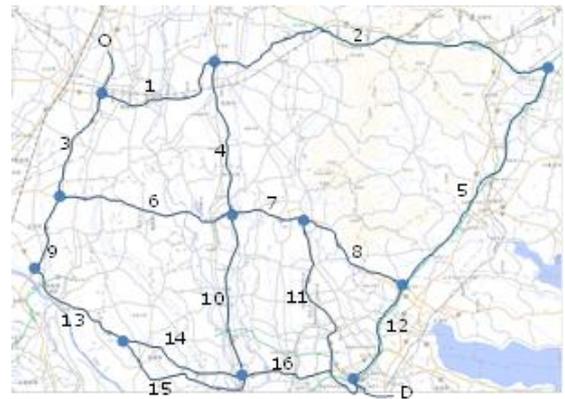


図-8 南北方向の分析ネットワークとOD設定

(4) 南北のODペアでの交通シミュレーション

a) リンク設定と平均リンク所要時間

次に南北方向のODとして、起点を小田林西交差点、終点つくばJCTとした終点とし、図-8に示すような分析ネットワークを設定した。なお、リンク5と12は常磐自動車、リンク2は北関東自動車道である。

ETC2.0プローブデータから算出した平均リンク旅行時間は図-9に示す。平均リンク所要時間を見ると、リンク1, 2, 4, 5において災害直後の旅行時間が平常時と比べ

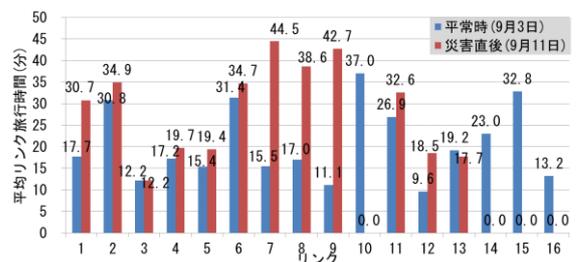


図-9 南北方向ネットワークの平均リンク旅行時間

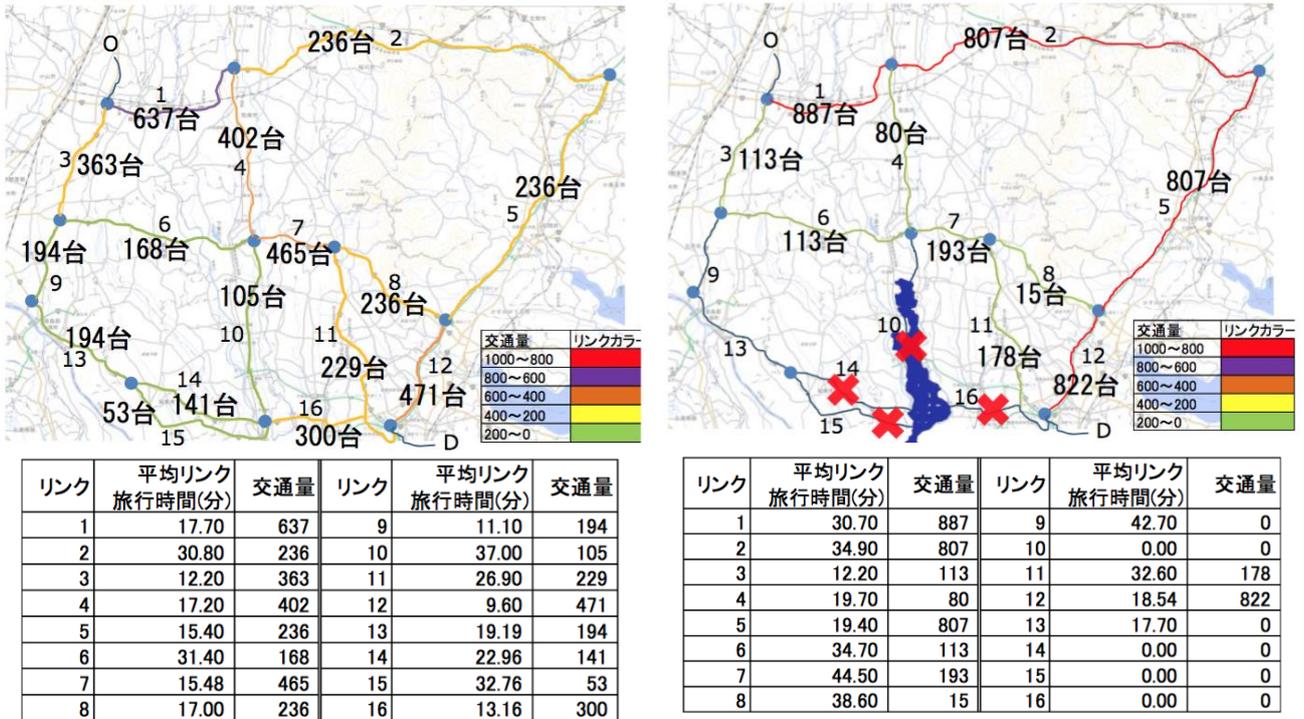


図-10 南北方向でのシミュレーション結果

b) シミュレーション結果

平常時ならびに災害時のシミュレーション結果を図-10と示す。平常時(図-10左側)ではネットワーク全体が利用されているが、鬼怒川の左側のリンク6, 9, 10, 13, 14, 15のリンクはあまり利用されておらず、比較的マイナーな経路と考えられる。一方、災害時(図-10の右側)においては、全体の8割が国道50号から北関東自動車道を利用して友部JCT経由で常磐自動車道を通る経路を利用しており、大きく迂回するようなシミュレーション結果が得られた。

(5) パラメータの感度分析

感度分析としてRLモデルのパラメータ $\beta$ の値を変動させ、旅行時間の重みが増加した際の経路選択結果の変化分析する。具体的にはパラメータ $\beta$ を-0.1, -0.5, -1.0の3つの値に変化させた。東西方向のODを持つネットワークでの結果を図-11, 南北方向のODを持つネットワークでの結果を図-12にそれぞれ示す。これらを見るとパラメータ値 $\beta$ が負に大きくなるにつれてOD間の最短経路に交通量が集中していることが確認できる。この結果は既往の所要時間のみを用いた確率的均衡配分の分散パラメータの性質と整合しており、シミュレーションが適切に行われていることを担保している。また、既往研究では分散パラメータを1とする場合が多く見られるが、災害時には経路コストを軽視した近視眼的な選択が行われると考えられるため、0に近づくことが想定される。そのため、今後は実データを用いた推定を行う必要がある。

5. おわりに

本研究は、2015年に発生した関東・東北豪雨での浸水被害エリアを対象に、ETC2.0プローブデータを用いた経路選択モデルによるシミュレーション分析を実施した。その結果、マクロなODレベルの分析や経路選択レベルのミクロな分析にETC2.0プローブデータが有効であることを示した。また、経路列挙を必要としないRLモデルの適用可能性をシミュレーション分析から確認した。また、感度分析としてパラメータ値 $\beta$ の値を変動させることで、最短経路に交通量が集中することを示し、従来の分散パラメータと同様の挙動を確認した。しかしながら、パラメータを仮定した分析に留まるため、実データを用いたパラメータ推定が早急に必要である。

今後の課題として、より広範囲かつ密なネットワークに拡張したシミュレーションを実施することにより、被災エリアから離れた地域での波及的な交通負荷を明らかにすると考えられる。また、シミュレーション内の効用関数の変数に所要時間以外の影響を加えることでより精緻なシミュレーションが可能になると期待される。具体的には、経路選択要因なりうる車線数や線形などのリンク特性や右左折回数、経路重複項(例えば Path size 項)、情報の有無などが考えられる。特に、災害下においては、情報提供による最適な経路誘導の実現が重要であり、これらを考慮した経路選択モデルの構築とシミュレーション分析を行うことにより、円滑な避難行動の検討に資する材料になると考えられる。

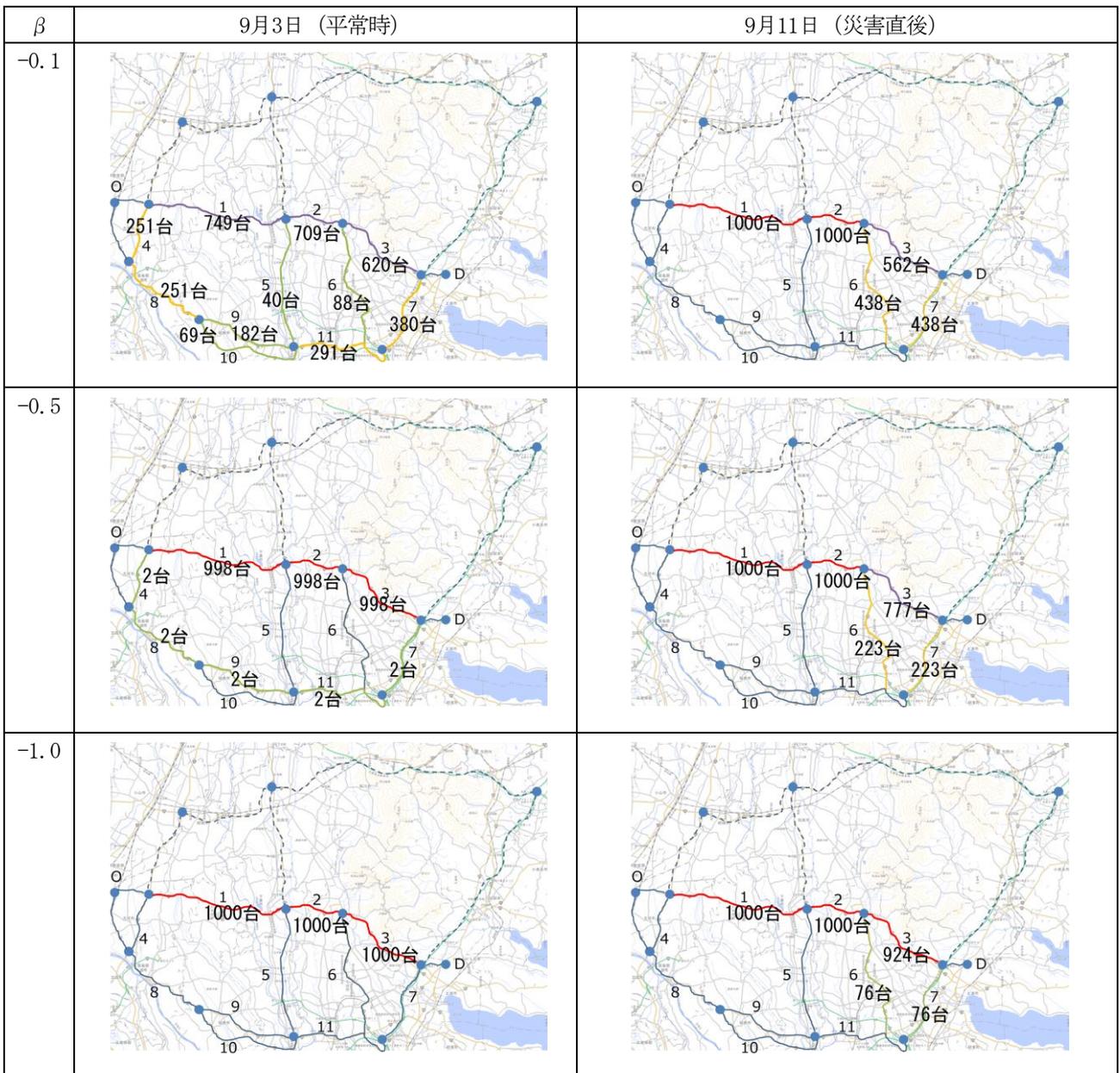


図-11 東西方向での感度分析結果



## DEVELOPMENT OF ROUTE CHOICE MODEL USING ETC2.0 PROBE DATA AT THE DISASTER TIME

Soshi NAKANO and Hideki YAGINUMA

At the time of a disaster such as an earthquake or flood, the traffic network cannot bring sufficient function due to road link cutoff, and has a serious effect on evacuation and rescue activity. Particularly, road performance becomes lower with the traffic congestion due to road closure and traffic regulation. For this reason, it is indispensable to guide route by providing information to the driver at the time of a disaster. But the knowledge on route choice behavior at the time of a disaster is inadequate now. Therefore, in this study, through grasping the entity of route choice at the time of disaster, a route choice model for the heavy rain in Kanto / Tohoku that occurred in September 2015 is tried to be constructed. Through applying ETC 2.0 probe data, the actual state of route choice behavior at bank rip of the Kinugawa river is grasped. In addition, the route choice behavior using route choice data at the time of disaster is also analyzed. As a result, the road situation in disaster can be simulated, and it is expected that the proposed model will be contributed to the formulation of disaster prevention plans.