

# ETC2.0プローブデータを用いた 豪雨災害時における経路選択モデルの構築

島村 聡<sup>1</sup>・柳沼 秀樹<sup>2</sup>・寺部 慎太郎<sup>3</sup>・康 楠<sup>4</sup>・田中 皓介<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程

(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641) E-mail:7618519@ed.tus.ac.jp

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

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail: terabe@rs.tus.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail: kangnan@rs.tus.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail: tanaka.k@rs.tus.ac.jp

災害発生直後において、被災地域からの避難や救助活動を迅速かつ円滑に実施することが必須となる。また、事前の避難計画の検討や発災時の避難誘導を実施する上で、時々刻々と変化する交通ネットワーク状態を考慮したドライバーの避難行動を記述および予測することは、適切な施策を検討・実施する上で必要不可欠となる。本研究では、災害時におけるドライバーの経路行動の把握を目的として、リンクの逐次選択により経路単位での選択肢列挙が不要なGeneralized Recursive Logit (GRL)モデルと各リンクの状態遷移を考慮可能なDynamic Discrete Choice (DDC)モデルに基づく経路選択モデルを構築する。ケーススタディとして、2015年9月の関東東北豪雨で被災した茨城県常総市周辺を対象に、ETC2.0プローブデータを用いてモデルパラメータの推定を試みた。その結果、平時とは異なる災害時の経路選択特性が明らかとなり、GRLやDDCが有効であることが示された。

**Key Words :** Recursive logit model, Dynamic discrete choice, Route choice model, ETC2.0

## 1. はじめに

近年、我が国では多くの地域で自然災害が頻発しており、インフラを含めて社会全体に大きなダメージを与えている。2015年9月10日に発生した関東・東北豪雨では、鬼怒川堤防破堤により道路の遮断が発生し、道路ネットワークの持つ十分な機能を発揮できない状況に直面した。こうした交通ネットワークの混乱は、通行止めや交通規制などを引き起こし、迅速な避難行動や救援救助活動の妨げとなる。このように、災害時においては交通ネットワークの性能低下を最小限に抑えるために、時々刻々と変化する交通ネットワークの状態を考慮した上でドライバーの行動を把握することが必要不可欠である。

ドライバーの経路選択を表現するモデルとして、離散選択モデルを援用した経路選択モデルが挙げられる。しかしながら、全ての選択可能な経路を列挙し、各選択肢の効用を特定する必要があるため、現

実的には困難である。様々な条件を設けて選択肢集合を限定した上で、モデルが適用されてきた。他方、災害時には被災範囲が常に変化し続けるため、選択肢を限定する従来型のモデルを適用することは困難である。

以上を踏まえて本研究では、災害時における円滑な避難支援を念頭に、時々刻々と変化する交通ネットワークの状態を考慮した経路選択モデルを構築する。具体的には、詳細な経路選択行動が記録されているETC2.0プローブデータを活用し、道路リンクの被害状況を反映したネットワーク状態の記述を行う。さらに、選択肢の列挙を必要としない逐次選択モデルであるGeneralized Recursive Logit (以下GRL)とリンクの状態遷移を考慮することが可能なDynamic Discrete Choice (以下DDC)モデルに基づく経路選択モデルを構築する。これにより、これまで困難であった災害時の経路選択行動が記述可能と

なり、避難誘導計画の策定に資することが期待される。

以下に、本論文の構成を述べる。2.では離散選択モデルを援用した経路選択モデルに関する研究のレビューを行い、本研究の位置づけを述べる。3.では本研究で用いるETC2.0プローブデータの概要を述べる。4.ではETC2.0を用いて経路選択モデルの構築を行う。5.では基礎分析より得られたリンクの状態遷移確率を考慮した配分シミュレーションを行う。最後に、6.にて本研究の結果と課題をまとめる。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

### (1) 経路選択モデルに関する研究レビュー

ドライバーの経路選択行動を精度良く記述することは、交通量推計の精度向上や交通管理、交通誘導といった多様な交通政策での活用が期待される。

交通量配分分野では、経路選択行動規範として最短経路が採用されてきた。これは、ドライバーが目的地までの所要時間が最小となる経路を正確に把握し、経路選択を行っているという仮定の上に成立している。しかしながら、全てのドライバーが同じ判断基準を持ち、かつ交通状況について完全に情報を把握しているとは考えにくい。そのため、ランダム効用理論に立脚した離散選択モデルを援用することにより、より現実的かつ精緻な経路選択行動の記述および予測が可能となった。

安藤ら<sup>1)</sup>は、現実ドライバーの個々の嗜好性や運転の目的など所要時間以外の要因を加味した経路選択行動の構築を念頭に、現実の経路選択行動と既存の経路選択モデルと比較を行っている。その結果、現実の交通流においてドライバーは所要時間、道路幅員、信号交差点数、右折回数等を考慮して経路を選択していることを明らかにした。またMNL, C-Logit, GEVの3つのモデルで推定を行い、C-Logitが最も適合していることを明らかにした。

Fosgerauら<sup>2)</sup>は、従来の経路選択モデルでは選択肢集合の列挙が必要であり、かつ出発後の変化を考慮できないという点を指摘した。これらの問題を解決するために、従来のパスベース（経路単位）の経路選択モデルではなくリンクベース（経路を構成するリンク単位）での逐次的に経路を選択する経路選択モデル（Recursive Logit Model : RL）を提案した。また、シミュレーションデータと実データの両方で推定可能であることを示している。

大山ら<sup>3)</sup>は、ドライバーの経験により得られた空間知識によりネットワークを把握していることを前提とした既存の経路選択モデルは、災害時のようなドライバーが経験や情報を持たず先読みができない状況での経路選択行動の把握は困難であると考えた。このような意思決定の動学性を記述するため、空間割引率の概念を導入した一般化RLモデルを提案した。東日本大震災時の首都圏のデータを用いたパラメータ推定を行い平常時データと比較を行うことで、

災害時は近視眼的な意思決定が重視されまた経路選択行動メカニズムを明らかにした。

### (2) 本研究の位置づけ

本研究では、リンクの逐次選択により経路選択を記述可能なGRLモデル<sup>2)</sup>を利用して災害時のドライバーの経路選択行動をモデリングする。また、ETC2.0プローブデータにより得られる情報を利用することで、入手が困難な災害時のデータをモデルに導入する。ケーススタディとして、2015年9月10日に発生した関東・東北豪雨により影響を受けた鬼怒川周辺にてモデル構築を行うことで、平常時と災害時におけるドライバーの行動特性の把握を試みる。最後に、基礎分析により明らかにした各リンクの走行速度における状態遷移確率分布を適用したDDCモデルを構築し、配分シミュレーションを行う。これらの結果を通して、災害時における経路選択行動の記述に適したモデルの検討と今後考慮すべき課題について明らかにしたい。

## 3. ETC2.0 プローブデータと分析地域の概要

### (1) ETC2.0の概要

ETC2.0とは、従来のETCの自動料金収受システムに加え、道路上に設定されているITSスポットとETC2.0対応車両との双方向通信によって、リアルタイムでの渋滞回避支援や安全運転支援等の情報を受けることが可能なスポット通信サービスである。ETC2.0対応車両から走行履歴や経路情報等のビッグデータを受信しており、これらプローブデータの活用が行われている<sup>4)</sup>。

ETC2.0プローブデータは、2011年よりサービスが開始され、2016年4月時点では、関東地域の自動車保有台数2287万台のうちETC2.0セットアップ台数は48.6万台であり、関東圏内でのETC2.0セットアップ率は約2.1%と実交通の全貌を明らかにできるとは言い難い。本稿では、データが実交通の一部であることに留意して分析を行う必要がある。なお、ETC2.0はITSスポットによって自動的に収集されるため、機材の不調等により異常なデータが生じる可能性があることに注意したい。

### (2) 使用データの概要

本研究では、2015年9月1日から9月11日までのETC2.0データを用いて分析を行う。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。本研究では、正確な走行軌跡の取得が必要なため、車両が200m走行もしくは進行方向が45°以上変化するごとに緯度経度データが取得される走行履歴データを用いる。格納されているデータは、主に時刻、緯度経度、道路種別、速度等の情報である。

また、個人が特定されないような加工が施されて

おり、起終点、すなわちエンジンを 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特定できないように配慮している。また、1 日単位で車両を識別する ID が変更される仕様となっており、日を跨いだデータの分析が不可能となっている。そのため、本稿では鬼怒川決壊が発生した 9 月 10 日のデータと、常時のデータを 1 日単位で比較することで分析を行うものとし、経路データ中に生じた欠損は、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 未満の欠損は除去した。

### (3) 分析対象地域

本研究では、鬼怒川決壊によるリンク断絶の影響を、シミュレーションを用いて検証することを目的とするため、鬼怒川決壊による浸水区域を含む茨城県南部から埼玉東部、千葉県北西部を含む図-1 に示す二次メッシュの範囲で分析を実施した。

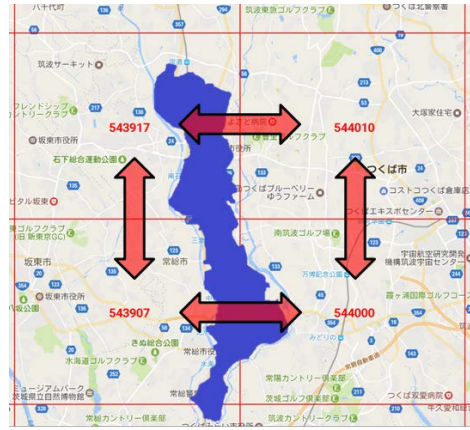


図-1 基礎分析対象地域

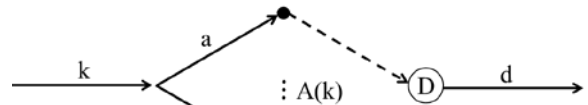


図-2 定式に利用するネットワーク

## 4. GRL モデルを用いた経路選択モデルの構築

### (1) Generalized Recursive Logit モデル概要

従来の経路選択モデルは、経路を選択肢集合として、経路の選択確率を求めたが、GRL モデルの場合は経路を構成するリンクを選択肢集合とし、リンクごとに選択確率を求め、リンク選択確率の総乗によって経路の選択確率を求める。これにより、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の選択確率計算が可能となる。一方、GRL モデルの問題点としては、経路の重複を完全に考慮することができない点が挙げられる。この問題については後述する Link Size 修正項を確定効用項から差し引くことで重複の影響を緩和させることが可能である。以上の点から、本研究のような実ネットワーク上での経路選択確率計算には GRL モデルが適していると言える。

次に GRL モデルの定式化を行う。図-2 のようなネットワークを考える。リンク  $k$  に接続するリンクの選択肢集合を  $A(k)$  とする。また目的地はダミーリンク  $d$  による吸収状態を考える。リンク  $k$  を選択した旅行者が、次に移動するリンク  $a \in A(k)$  を選択する場合の効用は、経路  $a$  に固有の瞬間的な効用を表す  $v_n(a|k)$  と誤差項  $\varepsilon_n(a)$  の和として式(1)で表される。

$$u_n(a|k) = v_n(a|k) + \mu\varepsilon_n(a) \quad (1)$$

ここで、 $\mu$  はスケールパラメータである。

また、マルコフ性により、旅行者の意思決定は過去の状態に依存せず、現在の状態のみが影響するという原則の下、旅行者は瞬時の効用  $v_n(a|k)$  とその後期待される効用  $V_n^d(a)$  の和が最大となるリン

クを選択すると考えられる。よって、リンク  $k$  の価値関数  $V_n^d(k)$  は式(2)で表される。

$$V_n^d(k) = E \left[ \max_{a \in A(k)} (v_n(a|k) + V_n^d(a) + \mu\varepsilon_n(a)) \right] \quad (2)$$

以上より、リンク  $k$  からリンク  $a$  に進む選択確率  $P_n^d(a|k)$  は多項ロジットモデル型となる

$$P_n^d(a|k) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a|k) + V_n^d(a))}}{\sum_{a' \in A(k)} e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a'|k) + V_n^d(a'))}} \quad (3)$$

価値関数  $V_n^d(k)$  はログサム変数を用いて、式(4)のように書き換えることができる。なお、 $\delta(a|k)$  は  $a \in A(k)$  の時 1、それ以外の場合が 0 である。

$$V_n^d(k) = \begin{cases} \mu \ln \sum_{a \in A} \delta(a|k) e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a|k) + V_n^d(a))} & \forall k \in A \\ 0 & k = d \end{cases} \quad (4)$$

### (2) 分析データの基礎分析

本研究では、上記の GRL モデルをベースにモデル構築を行う。初めに、ドライバーの経路選択行動に影響がある要素としてリンク所要時間を仮定した。また、ネットワーク構造を表す要素として、道路種別ダミーおよび交差点への接続ダミーを設けた。くわえて、ネットワーク構造の認知および把握の程度



を記述可能な時間割引率を導入することで、平常時と災害時における傾向の比較検討を試みた。

一方、GRL モデルは、有向非巡回グラフ(DAG)である場合のみパラメータの推定が可能であるといった欠点が存在する。その対策として、目的地から出発地点に向かう方向に逆向きダミーと題したダミーを与えた。これを負の値で設定することで疑似的な DAG を記述するとともに、ある程度の周回行動も許容可能なモデリングを目指した。以下に効用関数を示す。

$$V = \beta_T Time + \beta_I Intersection\ dummy + \beta_{Ro} Road\ dummy + \beta_{Re} Reverse\ dummy \quad (5)$$

推定を行う前に、1 次メッシュ(5439, 5440)を対象として 3 次メッシュ単位で OD 探索を行い平常時(2015/09/03)では 40 サンプル、災害時(2015/09/10)では 60 サンプルを抽出した。ここで、基礎分析として各リンクの走行速度をヒストグラムとして集計した。その結果、平常時(図-3)では 80km/h 前後で走行しているのに対し、災害時(図-4)では 50km/h 前後で走行しており、混雑による速度低下がうかがえる。

(3) GRL モデル構築と推定結果

これまでの分析結果を踏まえ、GRL モデルを推定した結果を表-1 に示す。全てのパラメータにて統計的有意性が認められた。尤度比に着目すると、平常時には、目安とされる 0.2 を上回り適合度の高さがうかがえる。一方、災害時にはこれを大きく下回り改善の余地がある。

本研究にて導入を試みた逆向きダミーに関して、平常時には負のパラメータ、災害時には 0 が良い当てはまりを示した。くわえて、時間割引率に関しては平常時には 1、災害時には 0.5 および 0 の当てはまりが良かった。以上より、平常時は選択肢となるネットワーク構造を把握した上で経路選択を行っているのに対して、災害時にはネットワーク構造が完全には把握できず、近視眼的な周回経路を含む選択を行う状況にあることが示唆される。

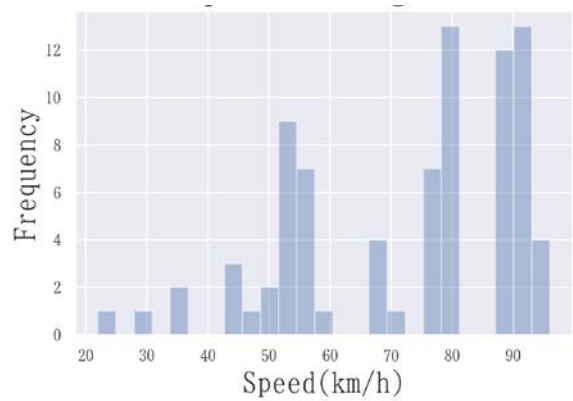


図-3 平常時速度分布図

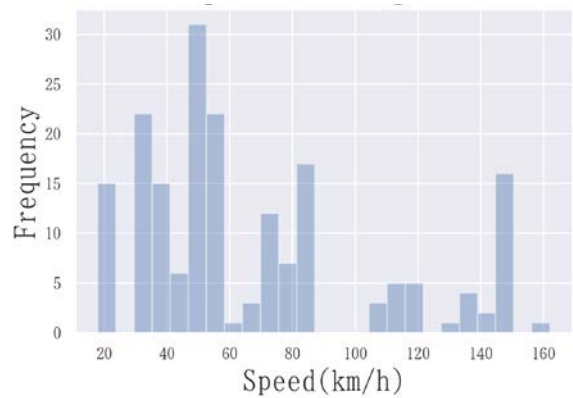


図-4 災害時速度分布図

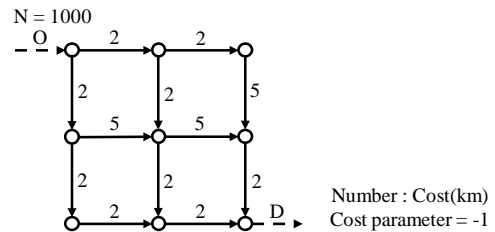


図-5 シミュレーションネットワーク

表-1 モデル推定結果

Variables	GRL(20150903)		GRL(20150910)	
	Parameter	t-value	推定値	t-value
Time	-5.264	-7.96 **	-0.662	-8.84 **
Intersection dummy	-12.445	-44.10 **	-0.565	-2.47 *
Ordinary road dummy	27.510	115.82 **	-0.385	-7.69 **
Reverse dummy(fixed)	-20.000		0.000	
Time discount rate(fixed)	1		0.5	
Sample size	40		60	
OD size	7		7	
Link size	95		190	
LL(0)	-11533.1		-1488.0	
LL(β)	-7788.4		-1415.4	
Likelihood ratio	0.325		0.049	
Likelihood ratio (Adjusted)	0.300		0.046	

Significance : \*5% \*\*1%

## 5. DDC モデルを用いたシミュレーション

### (1) DDC モデルの概要

ここまで、GRL モデルベースのモデル構築を試みてきた。一方、DAG 制約条件といった課題が存在するモデルである点も指摘してきた。

そこで、経路選択行動に関して Dynamic Discrete Choice モデル (以下 DDC) を利用した場合の適応可能性について検討を行う。DDC モデルとは、各リンクの状態遷移を考慮可能なモデルであり、状態遷移を許容せず構築を行う GRL モデルに比べてさらなる動学性の表現が期待される。

DDC モデルによるモデル構築を念頭に、本研究では仮想ネットワークを用いて、配分シミュレーションを行い、GRL モデルおよび DDC モデルそれぞれを適用した場合での総所要時間に関して比較を行うことで、DDC モデルの有意性を検証する。

以下に示す図-5 が使用する仮想ネットワークであり、リンク上の数字は距離を表している。

### (2) 仮想ネットワークによる試算

DDC モデルを構築するにあたり、状態遷移確率分布が必要である。今回は基礎分析にて集計した災害時における速度分布ヒストグラムを元に作成する。作成した状態遷移確率分布が図-6 である。縦軸が頻度、横軸が走行速度を示す。

上記の状態遷移確率分布を利用し DDC モデルを構築後、DDC モデルおよび GRL モデルを利用して仮想ネットワークにてサンプル 1000 台を走行させ総所要時間を算出し比較を行った。結果を図-7 に示す。縦軸が総旅行時間、横軸が状態を表す。ここで状態とは走行速度の減少する割合を表す。これは、状態が 1 進むごとに走行速度が 10% 減速することを意味する。ネットワークの混雑により走行速度が減少していく場合を想定した際、上記制約により状態が進むほど走行速度が減少するデータセットを作成可能である。

シミュレーション結果より、DDC モデルの方が GRL モデルよりも総所要時間が長くなることが判明した。DDC モデルの方が混雑した状態遷移の様子をより表現できたことが示唆される。

## 6. おわりに

本研究では、実データとして ETC2.0 プローブデータと逐次選択型で表現される GRL モデルを適用して、経路選択肢集合の列挙を必要としないモデルを構築した。これまで提案されてきたモデルのよう

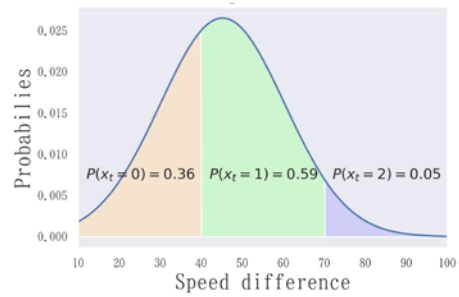


図-6 状態遷移確率分布

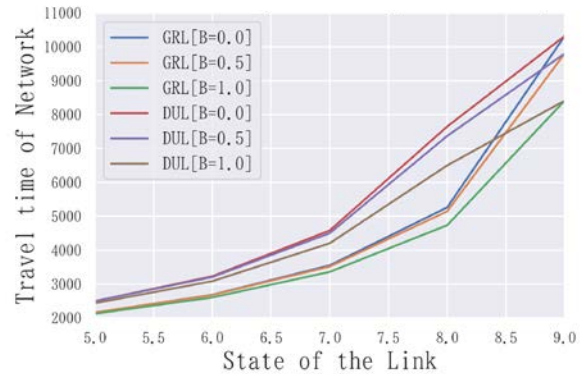


図-7 シミュレーション結果

な限定的な経路設定の中で構築されたモデルでは表現できなかった複数リンクの接続を考慮したモデリング、また推定計算が可能になることを示すことができた。また、モデルのパラメータや尤度比は良好であり、モデルの有効性を示すことができた。くわえて、状態遷移確率分布を考慮した DDC モデルを利用することでさらなるネットワークの動学性の考慮が期待

一方、本研究における課題点として、構築したモデルの精度向上が挙げられる。災害時モデルにおいて、尤度比が小さい値を示した点から、構築したモデルは有効なモデルとは言い切れないため、精度向上が必要である。また、サンプルデータを集計する際 3 次メッシュ単位での OD 集計を行ったため、データセットの精度に疑問が残る。

今後はモデル精度向上を行うとともに、データセット生成プロセスの見直しも吟味したい。また、本研究では GRL モデル推定に向けて逆向きダミーを用いることで DAG 対策を行ったが、時空間プリズムを利用する方法を現在検討中である。プリズムの利用により周回行動を許容しつつ時間軸を取り入れた分析が可能となる。今後はプリズムベースのモデリングを念頭に、まずはシミュレーション配分にてプリズムを取り入れ分析を行っていききたい。

### 参考文献

- 1) 安藤,正幸, 高山,純一, 中山 晶一郎: 交通流観測結果による Logit 型経路選択モデルの検証 土木学会論文集 D3, pp435-453, 2011
- 2) Mogens Fosgerau, Emma Frejinger and Anders arlstrom :

- A link based network route choice model with unrestricted choice set, Transportation Research PartB, pp70-80, 2013
- 3) 橋本成仁, 岡本雅之, 蔵元真: ETC2.0 プローブデータを用いた抜け道道路の特定とその事故特性に関する考察, 土木計画学研究・講演集, pp.1838-1839, 2016

- 4) 国土交通省 : ETC2.0 は ETC2.0 へ , <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/etc2/index.html>
- 5) 羽藤英二 : ネットワーク上の交通行動, 土木計画学研究・論文集 vol.19, pp13-27, 2002
- 6) 大山雄己, 羽藤英二 : 一般化 RL モデルを用いた災害時の経路選択行動分析, 交通工学論文集, 第 3 巻, 第 5 号, pp.1-10, 2017
- 7) Xinjun Lai, Michel Bierlaire : Specification of the cross-nested logit model with sampling of alternatives for route choice models, *Transportation Research PartB*, pp220-234, 2015
- 8) 兵藤哲郎, 遠藤弘太郎, 萩野保克, 西隆太 : Path Size Dial Logit モデルの提案とその適用可能性, *交通工学*, Vol.44, No.4, pp.66-75, 2009
- 9) 兵藤哲郎, 章翔 : Mixed Logit モデルの汎用性に着目した特性比較分析, *土木学会論文集*, No.660/IV-49, pp.89-99, 2000
- 10) Tien Mai, Mogens Fosgerau, Emma Frijinger : A nested recursive logit model for route choice analysis , *Transportation Research PartB*, pp100-112, 2015
- 11) Vittorio Marzano, Andrea Papola : On the covariance structure of the Cross-Nested Logit model, *Transportation Research PartB*, pp83-98, 2008
- 12) Chieh-Hua Wen, Frank S. Koppelman : The generalized nested logit model, *Transportation Research PartB*, pp627-641, 2001
- 13) E. Abbe, M. Bierlaire, T. Toledo : Normalization and correlation of cross-nested logit models, *Transportation Research PartB*, pp795-808, 2007
- 14) 柳沼秀樹, 福田大輔, 山田薫, 松山宜弘 : 離散選択型歩行者挙動モデル推定のための歩行者座標の自動抽出に関する基礎的研究, *土木学会論文集 D3*, Vol.67, No.5, pp787-800, 2011
- 15) 山道真人, 角谷拓 : MCMC 法を用いたシミュレーションモデルのパラメータ推定・ベイジアンキャリブレーション入門, *日本生態学会誌* 59, pp.207-216, 2009
- 16) 兵藤哲郎, 室町泰徳 : 個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー, *土木計画学研究・論文集*, Vol.18, no.3, 2001
- 17) 山本俊行 : 離散選択モデルの発展と今後の課題, *交通工学*, Vol.47, No.2, pp.4-9, 2012
- 18) 葛西誠, 小田崇徳, 内海泰輔, 泉典宏, 山川英一 : 一般道性能照査のための性能曲線推定法,
- 19) 浦田淳司, 井料隆雅 : 未観測ネットワークにおける OD 交通量パターンのサンプリング手法, *土木計画学研究発表会・講演集*, No.54, pp42-52
- 20) 金子法子, 福田大輔 : リンクベース再帰的ロジットモデルの首都圏道路網における経路選択分析への適応, *土木計画学研究発表会・講演集*, No.54, pp1339-1404
- 21) 大山雄己, 羽藤英二 : 観測不確実性における経路選択モデルの不動点問題, *土木計画学研究発表会・講演集*, No.54, pp32-41

## Data Driven Route Choice Model with Unrestricted Choice Set for Heavy Rain Disaster

Satoshi SHIMAMURA, Hideki YAGINUMA, Shintaro TERABE,  
Nan KANG and Kosuke TANAKA