

# 災害時のネットワーク接続性に着目した 需要変動型交通量配分

浦田 淳司<sup>1</sup>・羽藤 英二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)  
E-mail: urata@bin.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>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: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、災害からの短時間での避難時に形成される避難行動チェーンに着目し、準動的配分の枠組みを用いたそのモデル化を行う。避難行動チェーンの認知過程、列挙・選別過程、選択過程に3つに分けてモデルのフレームを示す。認知過程では、社会ネットワークモデルを用い、道路ネットワークの認知を活動場所と道路リンク同士のネットワーク接続性によりモデル化する。列挙・選別過程では、前の時間帯に取得した渋滞情報により経路の選別を行う。選択過程では、準動的配分の枠組みを用い、時間帯別にチェーン・経路を決定するフレームを示す。これにより、静的な配分計算を用いても、避難行動時の需要変動型の行動選択を再現しうることを示す。

**Key Words :** *evacuation, trip chain, network equilibrium, semi-dynamic traffic assignment*

## 1. はじめに

東日本大震災、ハリケーンカトリーナ、スマトラ沖津波等、大規模災害が世界各地でおこっており、異常時のネットワーク上の行動研究に対する要請は世界的にも強い。一方で、Gladwin et al.(2007)<sup>1)</sup>では”modeling of evacuation behavioral response in more precise and comprehensive ways”といったように、災害時の情報やセンシング技術に比べて、モデリングの未熟さが指摘されている。避難行動に関する行動研究として、避難開始時間、避難目的地、避難経路に関する研究に大きく3つに分けられる<sup>2)</sup>。避難開始時間モデルは、Tweedie et al.(1986)<sup>3)</sup>等をはじめとしてマクロ的な Evacuation Response Curve に関する研究が行われてきたが、近年、Fu and Wilmot(2004)<sup>4)</sup>では個人状態を説明変数とした Simultaneous travel demand model を用いたミクロ的なモデルに関する研究が進められている。避難目的地、避難経路に関する研究としては、A.J. Pel et al.(2011)<sup>5)</sup>では経路選択にあたって個人選考と避難指示のどちらかに従うかに着目した研究がなされている。また、So and Daganzo(2010)<sup>6)</sup>、Daganzo and So(2011)<sup>7)</sup>では、容量制約に着目した比較的単純なモデルから避難時間最小化戦略に関する研究が行われている。

これに対して、本研究ではネットワーク配分<sup>8)</sup>の枠組みにより避難者の活動・経路選択の再現を考える。避難時の交通ネットワークの評価を行うことを目標としている。異常時の交通行動は、日常の交通行動とは違

い、繰り返し行動ではないために情報の偏在が起こっており、均衡状態は達成されないと指摘されている。ただ一方では、異常時は多くの人々が一度に避難するために渋滞が発生し、交通ネットワークの評価が必要とされる。一方で、行動モデルやミクロシミュレーションモデルを用いたとしても、避難時に行われる行動は避難・再避難・他者支援・情報収集など様々であり、再現は容易とはいえない。静的な均衡配分理論は再現される現象は明快であり、避難行動への適用による問題点はあるものの、地域内の避難道路ネットワークの構造や自動車・歩行者の分担率の議論にむけての示唆を得られると考える。本研究では、静的配分の枠組みで避難行動チェーンの分析を試みる。

## 2. 避難行動チェーンの定義

短時間での避難行動チェーンのモデル化を行う。避難時は避難所での退避だけではなく、短い時間で様々な行動<sup>9)10)</sup>が起こっている。この様々な行動の連なりをチェーンと捉える。避難行動チェーンのフレームを示すために、避難行動チェーンの定義を説明する。

本研究では、避難行動として危機の認知から避難所退避までの行動を対象とし、またこの避難行動を行える時間が短時間(1時間以内)の場合を想定する。こうした災害には津波や火山噴火(火砕流発生)等が考えられる。以降では、津波避難行動を例として説明する。津波避難では、津波到着までの間に津波からの逃れるた

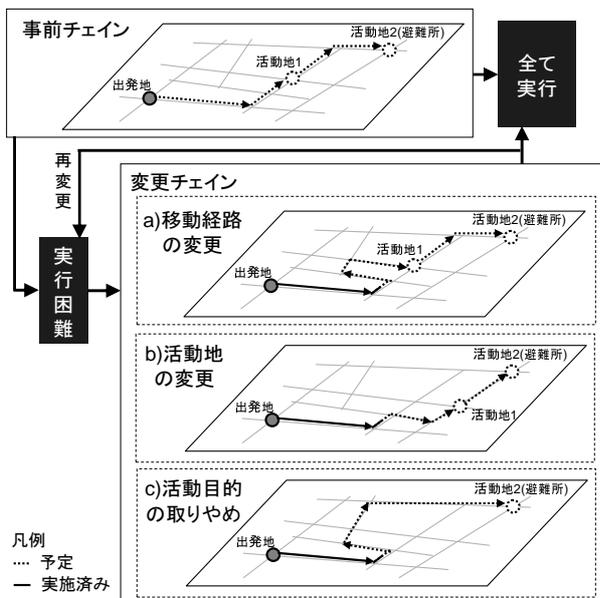


図-1 事前チェーンと変更チェーンの関係

めの「退避行動」や家族・知人等の安否確認や迎え、周りへの避難呼びかけといった「他者支援行動」、被害確認、避難準備や津波関連情報の収集といった「情報収集行動」が行われる。津波から逃れるために最後に退避行動を行う必要があり、他者支援行動や情報収集行動はそれより前に行われる。そこで、避難行動は「他者支援行動→退避行動」、「情報収集行動→他者支援行動→退避行動」、「退避行動(その他の行動なし)」というように複数又は単数の行動の組合せによって構成される。構成された行動の時間軸上での組合せを避難行動チェーンと定義する。

なお、ここでは「行動」とは『移動』を伴った『活動』のことを指す。また、『活動』とは退避・他者支援・情報収集といった活動目的とそれを行う活動地の組合せを指す。『移動』とは活動地に行くための移動手段と移動経路の組合せを指す。なお、本研究では均衡配分によるモデル化を行うため、移動手段に車を用いた場合のみを議論の対象とする。

次に、想定する避難行動チェーンの生成・変更過程を説明する(図-1)。まず避難者は行動開始前に津波到達想定時間と避難所到着までの避難行動チェーンを設定する。次に避難者は開始前に設定した避難行動チェーン(事前チェーン)に従った避難行動を行う。この際、事前チェーン通りの避難行動を全て実行できる場合もある一方で、津波到達予想時間の変化や渋滞による移動時間の増加に伴い実行が困難になる場合もある。困難になった場合には、避難行動の途中で事前チェーンを変更し、新たな情報を元に避難行動チェーンを設定する(変更チェーン)。事前チェーンから変更チェーン

への変更内容として次を想定する。

- (a) 移動経路の変更(活動地・活動目的は変更なし)
- (b) 活動地の変更(移動経路は変更、活動目的は変更なし)
- (c) 活動目的の取りやめ又は追加(移動経路、活動地を取りやめ又は追加)

変更チェーンが設定された場合には、それによって再度避難行動を行う。この繰り返しを避難行動チェーンの生成・変更過程とする。

### 3. モデルのフレームワーク

避難行動チェーンの再現を行うためのモデルのフレームワークを説明する。

#### (1) 全体フロー

避難者の避難行動チェーンの選択に影響を与える要素を整理した上で、モデルの全体フローを設定する。まず、避難者の行動選択に影響を与える要素は次の3つである。

- 要素1 希望する活動とその場所、移動経路
- 要素2 活動場所までの想定移動時間と想定する津波到着時間
- 要素3 情報更新(状況認知の変化)による要素2で想定する時間の変化

要素1は、行いたい活動とその場所の候補またはその組合せからチェーン選択の候補が形成され、避難者の行動選択に影響を与えることを意味する。要素2は、津波に遭遇しないように行動選択する必要があり、想定する津波到着時間は避難者の行動選択に影響を与えることを意味する。要素3は、要素2で示したように想定する移動時間と津波到達時間の比較が行動選択に影響を与えており、どちらかの想定が変わると行動選択に影響を与えることを意味する。

次に、要素1~3を踏まえ、モデルの全体フローを設定する(図-2)。フローの中ではまず時間帯を設定する。時間帯の移行段階で情報更新過程(要素3)を行う。一つの時間帯  $t_i$  の中では、まず希望する活動、活動場所(要素1)の組合せから避難行動チェーン候補を列挙・選別する過程  $t_{i-I}$  を行う。次に、想定移動時間、津波到達時間(要素2)を考慮して避難行動チェーンの選択する過程  $t_{i-II}$  を行う。これらを踏まえて、その時間帯の中での避難行動を実施する。これをモデル全体のフローとする。次節以降では、フローの各段階のモデルを説明する。

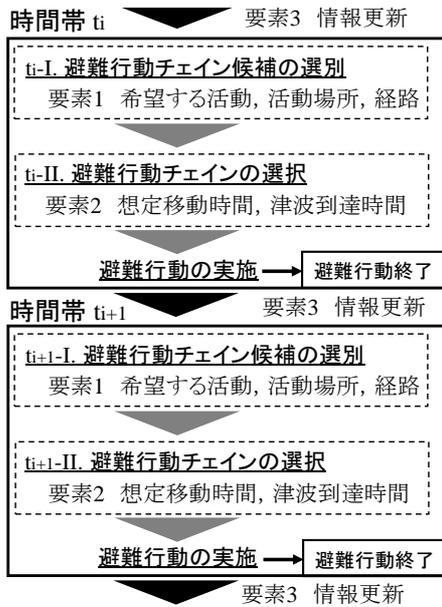


図-2 モデルの全体フローと要素の関係

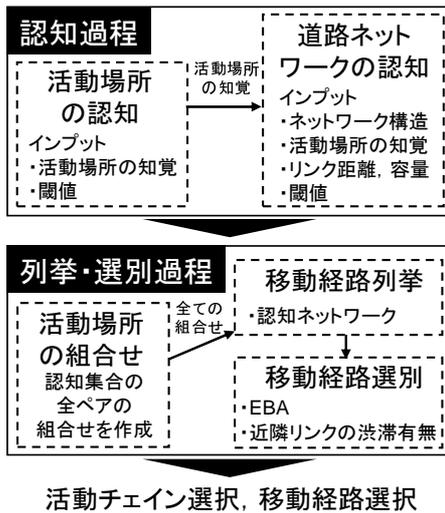


図-3 避難行動チェーン候補の選別過程フロー

## (2) 避難行動チェーン候補の選別過程

本節では、活動場所・移動経路の候補の認知過程を考慮した避難行動チェーン候補の選別過程のモデル化を行う。まず、活動場所と道路ネットワークの認知過程により行動対象となる候補を絞り込む。その上で、認知された活動場所と道路ネットワークから避難行動チェーン候補を選別する。選別過程のモデルの概要は図-3の通りである。

### a) 活動場所・道路ネットワークの認知過程

活動場所・道路ネットワークの認知過程は選択肢を探索するための予備的編集段階である。避難者が活動場所を認知し、その組合せにより避難行動チェーンを

形成する。ここで、まず避難者が活動場所を認知する確率を、

$$P_u^a = \text{prob}(Cog_u^a > S^a(t)) \quad (1)$$

で表す。式(1)より形成される活動 $a$ の活動場所の集合を $U_{cog}^a$ とする。 $P_u^a$ は活動目的 $a$ の活動場所 $u$ の認知確率、 $Cog_u^a$ は活動目的 $a$ の活動場所 $u$ の知覚量、 $S^a(t)$ は活動目的 $a$ の知覚の閾値を示す。ここで、知覚量 $Cog_u^a$ は他者支援活動の場合は家族や知人等の関係性が高い社会ネットワークのある場所、退避活動の場合は普段から親しみのある避難所等が高くなる。また、閾値 $S^a(t)$ を地震発生後からの時間 $t$ の関数とすることで、地震直後は正常性バイアスが働き危機意識が低いために退避活動以外の活動場所候補が多くなるという選択構造も表現可能である。

道路ネットワークの認知についても、知覚の閾値との比較により認知確率を与える。

$$P_{uv}^{link} = \text{prob}(Cog_{hg}^{link} > S^{link}(t)) \quad (2)$$

式2より形成される認知ネットワークの集合を $N_{cog}$ とする。ただ、ここではリンク $hg$ の知覚 $Cog_{hg}^{link}$ を別的外変数から与えず、活動場所の知覚 $Cog_u^a$ から算出する。リンク知覚量は知覚の高い活動場所に近いほど高いと考え、社会ネットワーク分析の中心性モデルの一つであるハベル中心性<sup>11)12)</sup>を用いて、リンク知覚量を与える。ハベル中心性は中心性の高いノードとの接続性が高いほど、またネットワーク構造とは関係のないノード固有値が高いほどネットワーク中心性が高くなるモデルである。活動場所をノードとし、元の道路ネットワークを所与としてノードのハベル中心性 $s$ (太字はベクトル又は行列を表す、以下同じ)とリンク知覚量 $Cog_{hg}^{link}$ は、

$$\begin{aligned} s &= e + W's \\ &= (I - W')^{-1}e \end{aligned} \quad (3)$$

$$Cog_{uv}^{link} = \{(s)_u + (s)_v\}/2 \quad (4)$$

$$(e)_u = \sum_a \beta_a Cog_u^a$$

$(s)_u$  : ノード $u$ のハベル中心性

$(W)_{uv}$  : ノード $uv$ 間の接続性

$\beta_a$  : 活動 $a$ の重み付けパラメータ

とする。リンク知覚量 $Cog_{hg}^{link}$ は、道路リンクに接続するノードのハベル中心性の平均とする。 $(W)_{uv}$ は $uv$ 間の接続性を示しており、 $uv$ 間の距離が短いほど大きく、容量が大きいほど大きくなる関数を与えることができる。また、リンクの知覚の閾値 $S^{link}(t)$ を時間 $t$ の関数とすることで、時間が経つほど早く逃げるために普段利用していない知覚量の低い道路ネットワークを候補とするといった選択も表現可能である。

## b) 活動場所・移動経路の選択枝列挙・選別過程

ここでは、a) で認知した活動場所の集合  $U_{cog}^a$  と道路ネットワーク  $N_{cog}$  から補償型選択の対象となる避難行動チェーンの選択枝を作成する。

まず、活動場所については、避難行動チェーンの中で行う活動回数の上限值(任意に設定)以下1以上の活動場所の順列組合せを列挙する。順列組合せの最後は集合  $U^{a=退避}$  に含まれる活動場所とする。ここで、避難行動時は緊急時であるため活動場所の候補として認知される場所自体が少ないと考える。そこで、 $S^a(t)$  を十分に大きくおくことで選別過程を代替し、時間帯  $t$  における集合  $U^a$  全ての活動場所の順列組合せを活動チェーン(避難行動チェーンのうち移動経路を含まない活動目的・活動場所のチェーン)候補の集合  $U^{r_t u_t}$  とする。なお、 $r_t$  は時間帯  $t$  における発地である。

次に、移動経路の列挙・選別については、望ましいと思う条件を満たさない代替案を消去していく属性消去モデル(EBA)<sup>14)13)</sup>を用いる。ただし、3.(1)で示した経路情報に関する情報更新過程を反映する。直前の時間帯で情報入手した渋滞リンク  $hg$  を含む経路はODペア  $r_t v$  の移動経路の候補から消去し、ODペア  $r_t v$  間の移動経路候補の集合  $U^{r_t v}$  を形成する。なお、この際の元の道路ネットワークは認知ネットワークである  $N_{cog}$  である。考え方としては、まず避難者の時間帯  $t_i$  での経路情報は時間帯  $t_{i-1}$  において獲得する。ここでは、発地  $r_t$  から  $m$  ステップ以内のリンク集合  $L_m$  中のリンク  $hg$  について、時間帯  $t_{i-1}$  での待ち時間  $T_{hg}^w$  の情報を獲得する。待ち時間  $T_{hg}^w$  が閾値  $S^{elim}(t)$  を越えていれば、リンク  $hg$  を含む移動経路  $k_{hg}$  を避難行動チェーン候補から消去する。消去確率は、

$$P_{k_{hg}}^{elim} = \text{prob}(T_{hg}^w > S^{elim}(t)), hg \in L_m \quad (5)$$

で表す。待ち時間の閾値  $S^{elim}(t)$  を時間  $t$  の関数とすることで、時間が経つほど急いで移動する必要があり、渋滞リンクを利用しなくなるといった選択も表現可能である。

## (3) 避難行動チェーンの選択過程

本節では、避難行動チェーンのうち活動チェーンの選択過程と活動チェーンを固定した際の経路配分のモデル化を行う。なお、以降の定式化において、時間帯  $t$  での選択過程を示すが、変数  $t$  は全て省略して表記する。

### a) 活動チェーンの選択過程

ここでは、活動チェーン候補の集合  $U^{r_t u_t}$  の中から実際の活動チェーンを選択するモデルを説明する。避難時において避けるべき事態は被害に遭うことであり、災害発生前に退避する必要がある。そこで、想定津波到達時間とそれに対して遅れた場合の遅れ時間コスト<sup>15)16)</sup>の考え方を導入する必要がある。一方で、ただ早

く退避するのではなく、実際には他者支援や情報収集の活動が行われた。こうした活動効用と遅れ時間コストの関係は避難行動チェーンの中でトレードオフの関係にある。つまり、チェーン内の活動数が増えるほど活動効用は上がる一方で、退避が遅れる可能性は高まるため、遅れ時間コストは増加する。これを踏まえ、活動チェーン  $p$  のコスト  $C_p$  は次とする。

$$C_p = -CH_p + c_p + \delta \max(0, c_p - \tau_p) + \epsilon_p \quad (6)$$

ここで、 $CH_p$  はチェーン  $p$  の活動効用、 $c_p$  はチェーン  $p$  の(想定)移動時間(コスト)、 $\tau_p$  は想定津波到達時間、 $\delta$  は遅れ時間コストパラメータ、 $\epsilon_p$  はチェーン  $p$  のコストの確率項とする。確率項  $\epsilon_p$  に Gumbel 分布を仮定すると、チェーン  $p$  の選択確率はロジットモデル型の式で与えられる。

$$P_p = \frac{\exp(-\theta V_p)}{\sum_{U^{r_t u_t}} \exp(-\theta V_p)} \quad (7)$$

$$V_p = -CH_p + c_p + \delta \max(0, c_p - \tau_p)$$

なお、遅れ時間コストに分布を仮定した場合は、式(8)とは異なる式形となる。また、遅れ時間コストや活動効用は、性別や社会的立場によっても異なる<sup>22)</sup>ため、このことを反映した分布、パラメータの設定も求められる。

ここで選択された活動チェーン  $p$  は活動場所  $u$  の集合であり、チェーン内の移動はODペア接続行列  $\eta_p$  (trip chain-OD pair incident matrix) で表すことができる<sup>17)</sup>。チェーン内にODペア  $uv$  が  $n$  回含まれるときは、 $\eta_p^{uv} = n$  となる。

### b) 準動的配分を用いた経路選択過程

ここでは選択された活動チェーンの経路選択過程を示すため、準動的配分<sup>18)19)20)21)</sup>の枠組みを導入する。

準動的配分の枠組みには、赤松ら(1998)<sup>21)</sup>の渋滞内生化時間帯別利用者均衡配分モデルを用いる。このモデルは、待ち行列(point queue)を用いてリンクの残留交通量を表現している点、最適化問題として定式化でき、通常の均衡配分のアルゴリズムで計算可能なことに特徴がある。一方で、混雑は次の時間帯への待ち時間としてのみ影響しており、混雑の空間移動は表現されない点に課題がある。本研究では、時間帯別に通常の均衡配分のアルゴリズムで計算可能であること、待ち行列の影響を次の時間帯に反映できることを踏まえ、当モデルを用いる。

具体には、まずリンク  $a$  の時間帯  $m$  の待ち行列台数を  $X_a^m$ 、流入率を  $x_a^m$ 、1時間帯での最大流出率を  $\mu_a$  としたときに、待ち行列台数の時間帯間の状態方程式は、

$$\begin{aligned} X_a^m &= X_a^{m-1} + x_a^m - \mu_a \quad \text{if } X_a^m > 0 \\ X_a^{m-1} + x_a^m &\leq \mu_a \quad \text{if } X_a^m = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

となる。また、時間帯  $m$  にリンク  $a$  に流入した車の渋滞待ち時間は、

$$e_a^m = X_a^m / \mu_a \quad (9)$$

となる。また、時間帯  $m$  におけるリンク旅行時間はリンクコスト関数  $t_a(x_a^m)$  を用いて、 $t_a(x_a^m) + e_a^m$  となる。ここで最適化問題は次となる。

$$\min_{x, X} \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_a X_a^2 / (2\mu_a) \quad (10)$$

$$s.t. q_{od} = \sum_r f_r^{od} \quad (11)$$

$$x_a^m = \sum_o d \sum_a f_r^{od, m} \delta_{r, a}^{od} \quad (12)$$

$$\bar{\mu}_a - (x_a - X_a) \geq 0 \quad (13)$$

$$f_r^{od} \geq 0, X_a \geq 0 \quad (14)$$

$$\forall a, od \quad (15)$$

なお、 $f_r^{od, m}$  は OD ペア  $od$  の  $r$  番目経路を時間帯  $m$  に通過する交通量、 $q_{od}^m$  は時間帯別 OD 交通量である。また、 $\bar{\mu}_a = \mu_a - X_a^{m-1}$  であり、 $\bar{\mu}_a$  は時間帯  $m$  において定数である。

本研究では、1 時間帯にチェーン  $p$  の 1 トリップ (はじめの OD トリップ) が行われると仮定し、配分計算を行う。1 時間帯の OD 移動が終わった段階で、再度活動チェーンの選択を行う。これを繰り返すことで避難行動チェーンを再現する。まず、仮定は 1 時間帯に 1 OD が行われるという強い仮定をおいているが、本研究で狙いとする 1 時間以内の避難行動チェーンの再現にあたり、1 時間帯を 10 分程度と想定する。その際、道路ネットワークの範囲を 10 分以内で移動が完結可能な小規模な範囲とすればよいと考える。これは、退避のための避難行動の場面において求められる道路ネットワークの規模と一致している。次に、毎回チェーンの選択を行うため、全体として均衡状態になっていないことになるが、非日常の避難行動においては均衡状態が成り立ちにくいことが想定され、問題はないと考える。むしろ、1 時間帯を長くすると時間帯内での均衡状態の成立に課題が残るため、個人が情報認知可能 (= 均衡状態が成立) な短い時間帯の設定が求められる。

#### 4. まとめ

本研究では、災害からの短時間での避難時に、退避・他者支援・情報収集を目的とした活動・移動が連なって避難行動チェーンが形成されることに着目し、その再現のためのモデル化を準動的配分の枠組みを用いて行った。避難行動チェーンをチェーンの認知過程、列挙・選別過程、選択過程に 3 つに分けてモデルのフレームを示した。また、モデルでは活動希望、想定津波到着時間、情報更新等の避難者の行動選択に影響を与える要

素を取り入れた。チェーンの認知過程では、活動場所の知覚量を元に、道路ネットワークの認知を活動場所と道路リンク同士のネットワーク接続性からモデル化した。知覚量の閾値の時間変化を行うことで、危機認知直後の被害直前と行動の違いを再現することも可能である。チェーンの列挙・選別過程では、前の時間帯に取得した渋滞情報により移動経路の選別を行う定式化を行った。これは災害時の道路情報伝達の高度化の政策評価に用いることもできる。チェーンの選択過程では、活動チェーンの選択過程と経路選択過程の二つのモデルと準動的配分の枠組みを用い、前の時間帯の待ち行列の影響を考慮した上で、時間帯別にチェーン・経路を決定するフレームを示した。これにより、避難行動時の需要変動型の動的な行動選択を、静的な配分計算を用いても再現しうることを示した。一方で、非日常時の行動であり均衡計算を適用すること自体に疑問があること、時間帯ごとの行動選択モデルとなっており将来予測・リスクが反映されていないこと、多様な個人行動の再現性等に課題がある。また、本研究では、モデルのフレームを示したのみであり、具体的な計算結果を示せていない。これらの課題に対応するため、引き続き、小規模ネットワークへの適用や選択過程のパラメータの具体的な算出等を行っていく予定である。

#### 参考文献

- 1) Gladwin, H., Lazo, JK., Morrow, BH., Peacock, WG., Willoughby, HE.: Social Science Research Needs for the Hurricane Forecast and Warning System, Natural Hazards Review, Vol.8, No.3, pp. 87-95, 2007.
- 2) Pel, A.J., Bliemer, MC. J., Hoogendoorn, SP.: A review on travel behavior modelling in dynamic traffic simulation models for evacuations, Transportation, Vol.39, pp.97-123, 2012.
- 3) Tweedie, S., Rowland, J., Walsh, S., Rhoten, R.: A methodology for estimating emergency evacuation times, Social Science Journal, Vol. 23, No. 2, pp. 189-204, 1986.
- 4) Fu, H., Wilmot, C.G.: A sequential logit dynamic travel demand model for hurricane evacuation, Transportation Research Record, Vol. 1882, pp. 19-26, 2004.
- 5) Pel, A.J., Bliemer, MC. J., Hoogendoorn, SP.: Modeling traveller behavior under emergency evacuation conditions, European Journal of Transport and Infrastructure Research, Issue 11-2, pp.166-193, 2011.
- 6) So, Sk., Daganzo, CF.: Managing evacuation routes, Transportation Research Part B, Vol. 44, pp. 514-520, 2010.
- 7) Daganzo, CF., So, Sk.: Managing evacuation networks, Transportation Research Part B, Vol. 45, pp. 1424-1432, 2011.
- 8) 土木学会 (編): 交通ネットワークの均衡分析 -最新の理論と解法-, 丸善, 1998.
- 9) Urata, J. and Hato, E.: Modeling the Cooperation Network Formation Process for Evacuation Systems Design in Disaster Areas with a Focus on Japanese Megadisasters, Leadership and Management in Engi-

- neering, Vol.12, pp.231-246, 2012.
- 10) 浦田淳司, 羽藤英二: 複雑ネットワークモデルを用いた豪雨災害時の協調行動形成に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, pp. 29-40, 2013.
  - 11) Hubbell, C. H. : An input-output approach to clique detection, *Sociometry*, Vol. 28, pp.277-299, 1965.
  - 12) 金光淳: 社会ネットワーク分析の基礎 -社会的関係資本論にむけて-, 勁草書房, 2003.
  - 13) Tversky, A.: Elimination by aspects: a theory of choice, *Psychological Review*, Vol. 79, pp. 281-299, 1972.
  - 14) 羽藤英二, 朝倉康夫: 限定合理性を考慮した経路選択モデルと均衡配分手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.22, No.2, pp.191-194, 1999.
  - 15) Walting, D. : User Equilibrium Traffic Network Assignment with Stochastic travel Times and Late Arrival Penalty, *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, No. 3, 1539-1556, 2006.
  - 16) Chen, A., Zhou, Z., Lam, W.H.K.: Modeling stochastic perception error in the mean-excess traffic equilibrium model, *Transportation Research Part B*, Vol. 45, pp. 1619-1640, 2011.
  - 17) Maruyama, T. and Harata, N. : Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: Investigation by trip-chain-based network equilibrium model with non-additive path costs, *Transportation Research Record*, No.1964, pp.1-8, 2005.
  - 18) 菊地志郎, 赤松隆: リンクの流入・流出交通量を内生化した時間帯別交通均衡配分に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, No.24, pp.577-585, 2006.
  - 19) 中山晶一郎: 混雑の時空間移動を考慮した準動的配分モデル, 土木学会論文集 D, Vol. 64, No. 3, pp.340-353, 2008.
  - 20) 藤田素弘, 山本幸司, 松井寛: 渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, 土木学会論文集 D, No.407/IV-11, pp.129-138, 1989.
  - 21) 赤松隆, 牧野幸雄, 高橋栄行: 時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を生じた準動的交通配分, 土木計画学研究・論文集, Vol. 15, pp.535-545, 1998.
  - 22) 羽藤英二, 植村恵里, 若林由弥: 構造推定を適用した紐帯の中の避難の非対称性, 第 47 回土木計画学研究発表会, CDROM, 2013.

## Stochastic network equilibrium models with elastic demand under evacuations

Junji URATA and Eiji HATO