

# 災害時の情報提供施策がネットワーク交通状態 に与える影響解析

高安 杏奈<sup>1</sup>・桑原 雅夫<sup>2</sup>・原 祐輔<sup>3</sup>・口井 雅之<sup>4</sup>・井料 隆雅<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 東北大学大学院 情報科学研究科 学術研究員 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)  
E-mail: takayas@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学大学院 情報科学研究科 教授 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)  
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京大学大学院 工学系研究科 助教 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 1 号館 324 号室)  
E-mail: hara@bin.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>4</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学系研究科 博士課程前期 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)  
E-mail: 188t110t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 神戸大学大学院 工学研究科 教授 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)  
E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

本研究では災害時の各個人が得た情報が道路ネットワーク全体の交通状態に与える影響を明らかにした。地震や津波等の災害時には道路損傷や規制により交通状況が普段とは大幅に異なるため、人々は Face-to-Face、携帯電話、TV・ラジオなどを用いて情報収集し、移動・行動に移ることが考えられる。一方で、2011 年の東日本大震災時には通信網破損により、通信メディアを通じた情報を得難い状況であったことが明らかとなっている。総務省はそれに対し、災害に強い情報ネットワーク導入を目的として 4 つの情報提供施策を提示している。本研究では、東日本大震災時の情報伝播と避難行動に関するエビデンス調査をもとに、Face to Face や様々なメディアからの情報取得・発信を考慮可能である情報伝播モデルとそれに基づく避難行動モデルを提案した。さらに提案モデルを用いて現状と施策を行った際の避難行動をシミュレーションし、影響分析からそれぞれの施策に対する評価を行った。また、今回は主観的旅行時間に着目した解析を行ったが、避難方向・安全性などを考慮したリンクコストを用いることで提案モデルは様々な解析に採用可能である。

**Key Words :** *information transmission, social network, traffic simulation*

## 1. はじめに

地震や津波といった災害時には道路の損傷等の原因によって道路状況が通常時と大きく異なる場合があり、各個人は通常時の経験のみならず、自分の目による状況の観測や公共放送、通信機器、知人や周囲の人から得た情報を基に目的地までの経路を選択すると考えられる。しかし、現在震災直後には情報通信網が破損してしまい、通信による個人間の連絡や公共情報の入手が困難であるという報告がある。一方で、通信業界や各省庁によって災害時の通信網の強靭化に関する対策は進められており、公共情報のみならず口頭や SNS による個人発情報も今後の情報網強靭化において重要視されている。しかしながら、このような公共情報や個人発情報にはそれぞれメリット・デメリットがある。公共放送は同時に大勢に情報拡散可能である一方で情報提供の遅れが生じやすく、個人発情報は地域の詳細な情報を伝播可能である一方で情報の信頼性の欠如や情報の持ち方のばらつきが生じやすいと考えられる。従って、このような情報伝播が災害時の避難移動に大きな影響を与える可能性があり、災害時の情報網強靭化を

行うにあたって、これらの施策が交通状態に与える影響を明らかにする必要がある。

災害時の情報伝播や避難意思決定に関する研究は幅広く行われている。例えば古田ら<sup>1)</sup>はある地域の安全・危険といった状態に関する主観的な確率の情報をランダムに選んだ住民に流すモデルを提案し、避難行動を記述した。畑山ら<sup>2)</sup>は水害時の人々の避難前行動・避難開始タイミング・避難所要時間を SP 調査から推定し、過去の浸水深データを基に避難勧告を発令するような避難行動シミュレーションを行った。また、個人間の情報伝播に関して、Olfati-Saber and Murray<sup>3)</sup>は反応拡散方程式を拡張し、情報ネットワーク (Information Network:IN) 上での情報伝播における信念の合意を表現する合意形成モデルを提案した。

しかしながら、これらの研究には 1) 個人発情報の移動に与える影響解析を目的としていない。2) 地震災害時のエビデンスに基づいた情報伝播モデルが考慮されていない。3) 旅行時間のような具体的な値の伝播が考慮されていない。といった課題がある。

そこで、本研究では東日本大震災の被災者へのアン

	植村による調査	今回行った調査
日時	2012 年 9 月の 4 日間	2017 年 9 月 26 日
対象	陸前高田市に在住する 15 歳以上の男女	東北在住かつ東日本大 震災時避難移動した人
方式	対話型ヒアリング	web アンケート
件数	31 名	200 名
項目	震災発生から約 1 時間 の間の行動と理由	震災時の交通情報取得・ 送信と行動

表-1 エビデンス調査概要

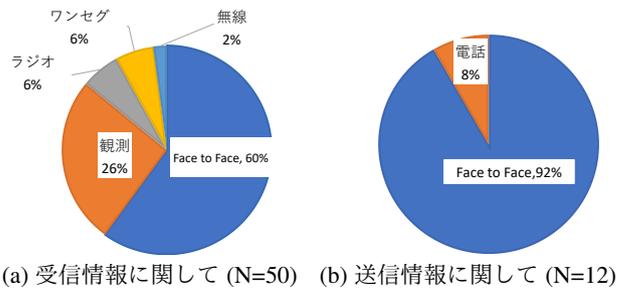


図-1 地震発生 1 時間以内の行動につながった情報受送信手段

ケート調査結果に従った個人発の旅行時間情報を考慮可能な情報伝播モデルを提案し、通信網の強靱化や情報提供施策が交通状態に与える影響を明らかにする。これらの解析は、今後の情報網強靱化指針の議論に有用であると考えられる。

## 2. 既往研究

## 3. 震災時のエビデンス調査

### (1) 調査方法

情報伝播モデルのエビデンスとして、表 1 に概要を示した植村<sup>4)</sup>の行った調査員によるヒアリング調査と今回行った東日本大震災時の情報伝播と行動に関するアンケート調査の結果をまとめた。

### (2) 調査結果

植村によるヒアリング調査と今回行ったアンケート調査から次の 4 つの事実が判明した。

まず、両調査の結果、共通してメールや電話のような通信網の破損や TV のような公共情報の取得ができなかったことがわかった。植村の調査によると、図 1 のように情報取得手段の 6 割は Face to Face によるものであり、また、送信手段に関しては 9 割以上が Face to Face であった。このことから、現在は Face to Face 情報伝播が避難行動を促す原因の主となっていることが判明した。

次に、受信情報に対する信頼度に対して、アンケート調査の結果から、観測道路リンクに関しては図 2(a) のように約 8 割の人は他からの情報を受け入れず自分の観測情報を優先させて行動を決定することが判明した。さらに、図 3 のように普段の経験を一番優先すると回答した人のうち約 7 割がルート決定後に新たな情報を得た場合は新たな情報を優先させると回答していることがわかる。一方で普段使用しているが震災後の道路状況は未観測である道路に対して普段の状況とは異なる交通情報を得た時の情報源ごとの情報の優先度を順

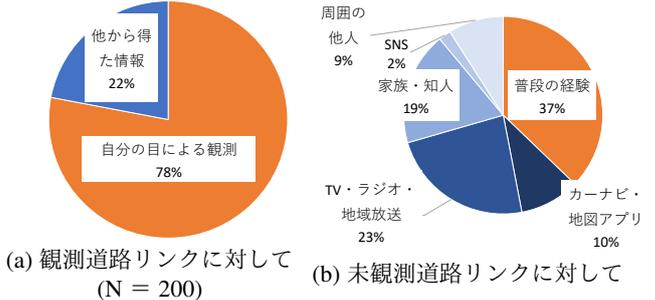
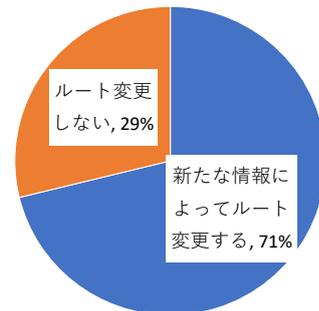


図-2 情報の信頼度

図-3 未観測道路リンクに対して普段の経験を優先すると回答した人のうち移動中の新たな情報入手によるルート変更の有無 (N=117)



位で重みづけすると図 2(b) のようになり、約 6 割は普段の経験ではなくなんらかの得た情報を優先させることが分かった。すなわち、観測道路リンクに対しては自分の観測情報を優先させるのに対して、未観測道路リンクに対しては他からの情報をもとに自分の持っている情報を更新していく傾向にあることが判明した。

また、交通情報の送信希望に関するアンケート調査では図 4 のように観測道路に対しては約 8 割、未観測道路に対しては約 6 割の人が自分の持っている情報を他者へ伝えたいと考えており、情報の送信方法は図 5 のように現状と同じ Face to Face 情報伝播を希望する人も多いが、約 3 割の人が通信網が破損していない場合にはメール・電話・メッセージを利用したいと考えていることがわかった。さらに、Twitter や Facebook のよう

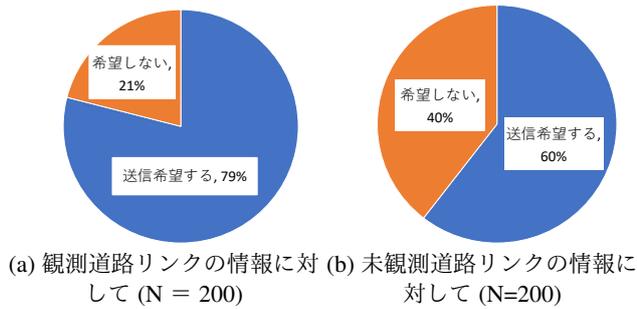


図-4 情報の送信希望有無

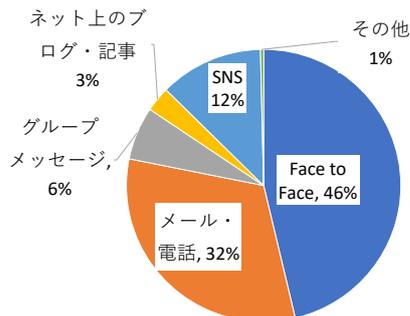


図-5 情報の送信希望方法 (N=270)

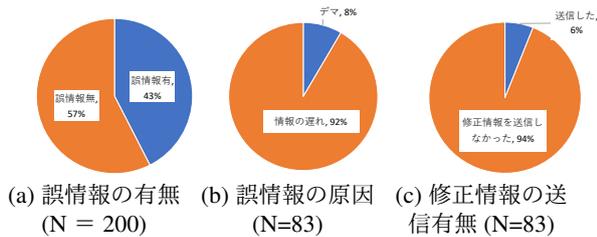


図-6 誤情報の伝播

な SNS を利用したいと回答している人が約 15 % おり、災害時の SNS を用いた個人発情報の収集に関して近年注目されていることから、今後通信網の強靱化に伴い、個人発情報は大きな影響を与えると考えられる。

そして、表 2 からわかるようにヒアリング調査では 5 名が公共放送による誤情報が原因で避難が遅れてしまったと回答しており、アンケート調査においても図 6(a) のように約 4 割の回答者が情報を基に行動した結果危険や渋滞に巻き込まれたと回答している。また、図 6(b) からアンケート回答者のうちそれらの情報が情報の遅れによるものだと感じている人 9 割以上だった。さらに図 6(c) のように受け取った誤情報に対する修正情報を送信した人は 1 割にも満たず、一度誤情報が広まるとなかなか修正されずに広まっていくことが判明した。このことから公共放送は情報の遅れ等から人々の行動に負の影響を与える可能性があることが明らかとなった。

ID	ヒアリング調査結果による記述
J	「息子が消防団員だから、情報がこれ、おとうさん、大きな津波来るぞーって。最初、3m っていったの。…(省略)…最初から 10m っかけて、あーって思ったけど、3m っていうから、ああたいたことないっておもったわけ。」
K	「大津波警報って言って、3m のところまでテレビかラジオでなんか聞いたような気がするけども、あとは 10m っていう津波はあとでわかったんですね。」
L	「ワンセグで情報収集を始めて、大津波警報っていうのは分かったんだけどちょっと何メーターくるかって言うのは、予想高さが最初低かったんで…(省略)…まあそんなことはないだろうと思ってました。」
T	「ワンセグとかいろいろ情報収集して…(省略)…東北沿岸に大津波警報だけか?…(省略)…それでまだ戻れるだろうと思って、会社の方に戻って、車に乗り換えた。乗り換えようと思っていったけど、途中で津波にあった」
V	「ラジオはうん、聴いてたけども、おらまで来る訳にやあって感じていたから。来ても大したことねえねって思ったから。ん、3m、って感じて聴いてたんだから。」

表-2 ヒアリング調査結果：誤情報による行動

以上のエビデンスをもって、本研究では 1)Face to Face 情報伝播が考慮可能、2) 観測・未観測による情報更新方法の分離、3) 通信メディア (SNS など) の影響が考慮可能、4) 公共情報の影響が考慮可能である情報伝播モデルを提案する。

#### 4. 情報伝播モデル

本研究ではエビデンス調査に基づいて個人間の繋がりを考慮した情報伝播による主観的旅行時間分布更新モデルを提案し、それに基づいた異なる情報をもつ個人ごとの移動モデルを用いて交通状態を解析する。

##### (1) ネットワーク設定

各道路に対する個人間の繋がりに基づいた情報伝播を考慮するために情報ネットワーク (Information Network:IN) と道路ネットワーク (Road Network:RN) の二つのネットワークを考える。まず、IN は情報を交換しあう個人間の繋がりを表しており、各ノードが各個人  $i \in \mathbf{N}$ 、各リンクが人間関係を表す。本研究では、人間関係の変化は考慮せず、形状変化の無い無向連結グラ

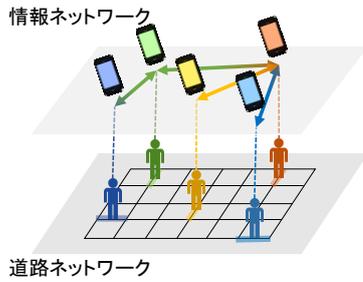


図-7 IN と RN の関係

フを想定している。次に、RN は道路の接続を表しており、各リンクが各道路リンク  $l \in E$  を表しているネットワークである。図7のように、IN 上の各個人は RN 上のリンクに存在し、存在している RN リンクの交通状態を観測している。各個人は IN 上で接続した知人から未観測 RN リンクに関する情報を受け取り、持っていた情報を更新し、その更新した情報をもとに RN リンク上を移動する。また、同時にその情報を IN 上で接続した知人に送信するものとする。

(2) 主観的旅行時間分布更新モデル

a) 初期設定

各個人は道路の観測・未観測状態によってそれぞれ主観的旅行時間分布の初期値を持つ。観測道路リンクに対しては、真の旅行時間  $t_*^l$  を平均、観測誤差  $\sigma_*^{l2}$  を分散とする。一方で、未観測道路リンクに対しては、過去の経験などから予測した旅行時間を平均  $\mu_i^l$ 、予測誤差  $\sigma_i^{l2}$  を分散とする。一般に、観測道路リンクに対する観測誤差の方が未観測道路リンクに対する予測誤差よりも小さいと考えられる。また、未観測道路リンクに対する主観的旅行時間分布の平均値パラメータ  $\mu_i^l$  はそれ自体も確率分布に従っており、その平均値分布をベイズ更新することで新しい主観的旅行時間分布を求めていく。なお、観測・未観測に関わらず、IN 上で接続した知人に送信する情報は主観的旅行時間分布の平均値であるとする。

このとき、全ての確率分布を正規分布で仮定することで、ベイズ更新後の分布形も正規分布となる。表3では全ての分布を正規分布と仮定した際の観測・未観測道路リンクに対する主観的旅行時間分布をまとめている。

b) モデル仮定

本研究ではエビデンスに基づいて観測・未観測を考慮して、以下の3つの仮定に従った情報伝播を考える。

- 1) 観測した RN リンクに対しては持っている情報の更新は行わない。
- 2) 未観測の RN リンクに対しては知人からの情報を基にベイズ推定し、情報更新を行う。
- 3) 各個人は IN 上で直接接続した知人全員に同時に情

	観測道路リンクに対して	未観測道路リンクに対して
主観的旅行時間分布形状	正規分布 $P(t_i^l) \sim N(t_*^l, (\sigma_*^l)^2)$	正規分布 $P(t_i^l) \sim N(\mu_i^l, (\sigma_i^l)^2)$
平均パラメータ	真の旅行時間 $t_*^l$ (確定値)	平均値分布 (正規分布) から抽出 (分布形は更新ごとに変化) $P(\mu_i^l) \sim N(\mu_{\mu_i}^l, (\sigma_{\mu_i}^l)^2)$
分散パラメータ	観測誤差 $(\sigma_*^l)^2$ (確定値)	予測誤差 $(\sigma_i^l)^2$ (更新ごとに変化)

表-3 主観的旅行時間分布の設定

報を送信する。

c) 更新方法

まず、主観的旅行時間平均値分布のベイズ更新において、情報を得る前の各個人  $i$  の主観的旅行時間平均値分布  $p(\mu_i^l)$  を事前分布とする。これに対して、知人  $j$  から情報  $\mu_j$  を得ると、その情報に対して平均  $\mu_i^l$ 、分散が  $\sigma_{other}^{l2}$  の尤度分布  $p(\mu_j^l | \mu_i^l)$  によって評価する。このとき尤度分布とは自分が  $\mu_i^l$  だと予測している際に情報  $\mu_j^l$  を得る確率であり、尤度分布の分散  $\sigma_{other}^{l2}$  が小さいほど知人の情報に対する信頼度が高いということになる。事前分布と尤度の積が情報更新後の事後分布  $p(\mu_i^l | \mu_j^l)$  に比例するので、 $\mu_{N_i}^l$  を知人全員からの情報だとすると、この更新は (1) 式のように表現できる。

$$p(\mu_i^l(k) | \mu_{N_i}^l(k-1)) \propto \prod_{j \in N_i} p(\mu_j^l(k-1) | \mu_i^l(k-1)) \times p(\mu_i^l(k-1)) \quad (1)$$

次にベイズ更新を任意の更新ステップ数  $k$  回繰り返すことで導出された  $k$  時の平均値事後分布  $p(\mu_i^l(k) | \mu_j^l(k-1))$  を用いて、主観的旅行時間分布の予測を (2) 式のように求める。

$$p(t_i^l(k) | \mu_{N_i}^l(k-1)) = \int p(t_i^l(k) | \mu_i^l(k)) p(\mu_i^l(k) | \mu_{N_i}^l(k-1)) d\mu_i \quad (2)$$

(1), (2) 式で表現される主観的旅行時間分布更新は、各分布を正規分布と設定することで、各パラメータの更新を拡散方程式として (3), (4) 式のように表現する

ことが可能である。

$$\mu_{\mu_i}^l(k) = \frac{\frac{\sigma_{other}^{l^2}}{|\mathbf{N}_i|}}{\frac{\sigma_{other}^{l^2}}{|\mathbf{N}_i|} + \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)} \mu_{\mu_i}(k-1) + \frac{\sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)}{\frac{\sigma_{other}^{l^2}}{|\mathbf{N}_i|} + \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)} \sum_{j \in \mathbf{N}_i} \frac{\mu_j(k-1)}{|\mathbf{N}_i|} \quad (3)$$

$$\sigma_{\mu_i}^{l^2}(k) = \frac{\frac{\sigma_{other}^{l^2}}{|\mathbf{N}_i|} \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)}{\frac{\sigma_{other}^{l^2}}{|\mathbf{N}_i|} + \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)} \quad (4)$$

また、これらのパラメータを用いた主観的旅行時間分布の更新は (5), (6) 式のように表現することが可能である

$$\mu_i(k) = \mu_{\mu_i}(k) \quad (5)$$

$$\sigma_i^2(k) = \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k) + \sigma_{other}^{l^2} \quad (6)$$

## 5. 避難行動モデル

### (1) 各個人の経路選択

各個人は各 RN リンクに対する主観的旅行時間分布の平均値によって最短経路を選択する。主観的旅行時間分布の分散を考慮した避難行動モデルを構築するためにはプロビットモデルなどを用いる必要があるが、今回は一回の情報伝播で主観的旅行時間分布の分散が大幅に小さくなることから、各個人の選ぶ経路は各道路リンクの主観的旅行時間分布の平均値を用いてダイクストラ法によって求める。このとき、観測道路リンクは過去に自分が通過したリンクとし、自分の流入時刻と流出時刻から観測旅行時間を得るものとする。

### (2) 交通流モデル

交通流モデルは福田ら<sup>5)</sup>の提案したモデルを用いる。RN 上の各道路リンクはそれぞれ自由流旅行時間  $f(l)$  と最小車頭間時間間隔  $h(l)$  を所与の値として持つものとする。このとき IN 上の各個人  $i$  が道路リンク  $l$  に流入する時刻を  $s_i(l)$ 、流出する時刻を  $u_i(l)$  とすると、前に車がない場合、流出時刻  $u_i(l)$  は (7) 式ようになる。

$$u_i(l) = s_i(l) + f(l) \quad (7)$$

また、 $i$  の次にリンク  $l$  に流入する個人  $j$  の流出時刻  $u_j(l)$  は (8) 式のように表せる。

$$u_j(l) = \begin{cases} s_i(l) + f(l) & \text{if } s_j(l) - s_i(l) \geq h(l) \\ u_i(l) + h(l) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

各 RN リンクには容量があり、リンク内の車両存在台数がリンク容量を越えた場合、流入先リンクの先頭車両がそのリンクから流出するまで現在いるリンクで待機する。これによって渋滞が延伸する。

## 6. 情報提供施策の評価

### (1) 考慮する 4 つのケース

本研究では、エビデンス調査から明らかになった現状を表す Case0 と以下の 4 つの情報提供施策による影響を数値シミュレーションによって比較分析する。

- Case0 Face to Face 情報伝播（現状）
- Case1 通信手段の確保
- Case2 避難指示者に情報提供
- Case3 地域連絡網の作成
- Case4 公共放送の提供

これらの Case は提案モデルを用いて考えられる。まず、Case0 (Face to Face) ではエビデンス調査に基づいて、同じ道路上にいる周囲の全員と情報交換する場合を考える。これは同じ RN リンク上にいる個人全員が繋がっている IN を一時的に作り、その IN 上で情報伝播を行うことで可能である。

次に、Case1 (通信手段確保) では個人発情報の影響を考える

Case2 (避難指示者) では、IN のうち次数の多い複数のノードを避難指示者ノードとし、そのノードから発信された情報に対する尤度の分散を他のノードに対する分散より小さくすることで、信頼度の高い避難指示者の影響を考慮する。

Case3 (地域連絡網) では、何人かごとに全員がリンクで接続されているような強連結のグループを作り、そのうちの代表者同士が情報を交換し合うような恣意的な IN 形状における情報伝播を考える。

そして、Case4 (公共放送) では、Case1 (通信手段確保) の場合にさらにマスコミノードを追加する。マスコミノードは IN 上の大半のノードとつながっており、各 RN リンクの真の旅行時間を数分遅れでそれらのノードに伝えるものとする。また、このとき、IN 上のノードはこのマスコミノードに対して尤度の分散を小さく信頼度の高いノードとして扱う。

### (2) シミュレーション設定

#### a) IN と RN

今回のシミュレーションではスケールフリー性を考慮した IN を用いる。スケールフリー性とはわずかな一部の人が非常にたくさんの知人を持っている一方で、大多数の人の知人数は少ないという現実社会のネットワークの性質であり、各ノードの次数  $d$  の分布がべき乗則に従っており、(9) 式のように表せる。

$$p(d) \propto d^{-\gamma} \quad (9)$$

大きな社会的ネットワークでは次数が  $\gamma = 2.1 \sim 4$  のべき乗に従うことが知られているので、ここでは  $\gamma = 3$  としている。

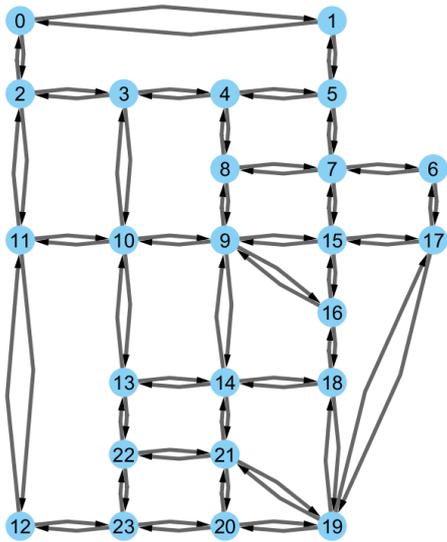


図-8 今回 RN として用いる Sioux Falls Network

また、RN については Leblanc et al.<sup>6)</sup> によって使用された米国都市 Sioux Falls のネットワークを基に作成された Sioux Falls Network を用いる。このネットワークは図 8 のように 24 個のノードと 76 本のリンクから成り、計算しやすい比較的小規模な複雑ネットワークであり、交通量配分のベンチマークとしてよく用いられる。ネットワーク形状と自由流旅行時間についてはオリジナルと同じものとする。OD 交通量はオリジナルと同様のパターンを用いるが、台数に関してはオリジナルの OD 交通量に OD ペアによらない一定の割合を掛けることによって、8875 台、15201 台、22041 台の 3 種類について考える。これらの OD 交通量を Sioux Falls Network の総リンク長で割った人の最大密度はそれぞれ、小 117 人/km<sup>2</sup>、中 304 人/km<sup>2</sup>、大 440 人/km<sup>2</sup> であった。これらは東日本大震災時の被災地と比べると、小さいほうが岩手県久慈市、大きいほうが福島県南相馬市に相当する。そして、これら全ての車両を起点でのリンク容量を超えないかつ 10 分間に流出しきるように等分に出発間隔を設定し、複数の起点から複数の終点に向かって移動させた。また、走行速度を一律 40km/h と設定することによって Sioux Falls Network で与えられている自由流旅行時間を用いて求められる各リンク長から、1km あたり 100 台の車両が存在できるという仮定のもとでリンク容量を求め、これに従って渋滞の延伸を考慮した。

**b) 情報伝播と移動に関する設定**

今回のシミュレーションでは主観的旅行時間分布の平均値分布と尤度分布を正規分布と仮定した。平均値分布の初期値は、観測道路リンクに対しては N(観測値,0.1)、未観測道路リンクに対しては N(自由流旅行時間,100) とする。また、尤度の分散についてはいくつかの数値実

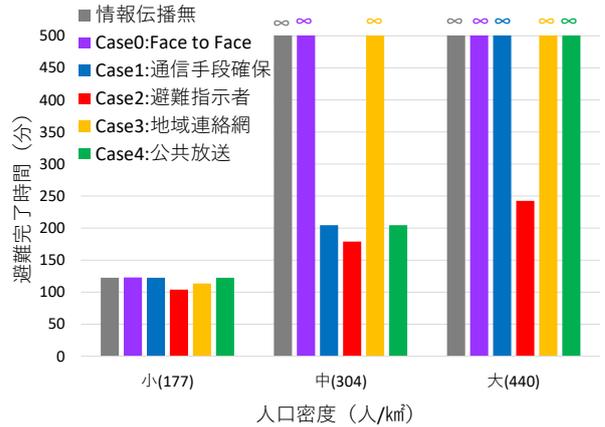


図-9 各 Case ごとの避難完了時間とグリッドロック発生有無

験から 10 と設定した。また、IN 上で接続した各個人との情報交換はタイムステップ 1 分ごとに行うものとし、各車両は 10 秒ごとに移動するものとする。Case0 (Face to Face) を除いて、RN 上にまだ存在していない車があるときでも情報交換は IN に従って行うものとした。

**c) 交通状態判定方法**

各ケースのシミュレーションによる交通状態は避難完了時間とグリッドロックの発生有無によって比較する。グリッドロックの発生は流出量 0 のリンクがループを形成したときを指す。

**(3) 結果**

図 9 に各 Case ごとに最初の車が RN 上に流入してから最後の車が流出するまでの経過時間を避難完了時間として棒グラフで示した。∞ が棒グラフ上部に記されている Case はグリッドロック発生により避難が完了しなかったことを表す。ここで、情報伝播無というのは、各個人が自由流旅行時間に従って経路選択した場合である。

Case2 (避難指示者) についてはリーダーの人数を IN ノード数の 1% とし、リーダーノードに対する尤度は 1 とした。Case3 (地域連絡網) については 30 人ずつの強連結グループ、Case4 (公共放送) についてはマスコミノードに対する尤度を 1 とし、3 分遅れた情報を渡すこととした。またエビデンス調査からマスコミノードの影響を受ける人は全体の 6 割と設定した。

図 9 より Case1 (通信手段確保) については、人口密度中の場合には現状の Case0 (Face to Face) に比べ避難完了時間が短く、効果があると考えられる。しかし、人口密度大の場合にはグリッドロックが発生してしまったことがわかる。

Case2 (避難指示者) では人口密度大の場合でもグリッドロックが発生せず避難が完了していることから、避難指示者に有益な情報を提供する施策は大いに有効で

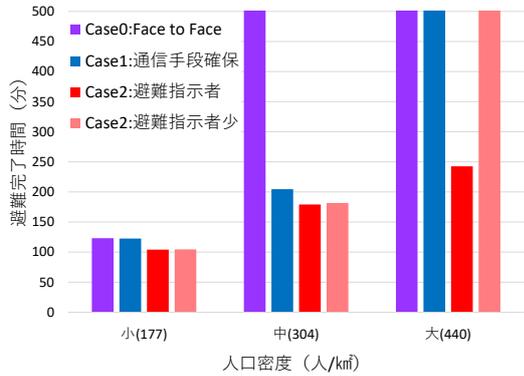


図-10 各 Case ごとの避難完了(グリッドロック発生)時間とグリッドロック発生有無

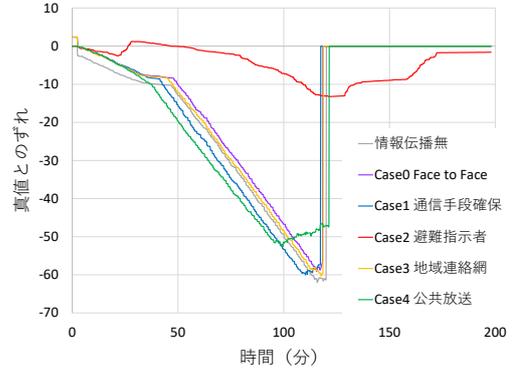


図-12 全員の平均主観的旅行時間分布と真値とのずれ

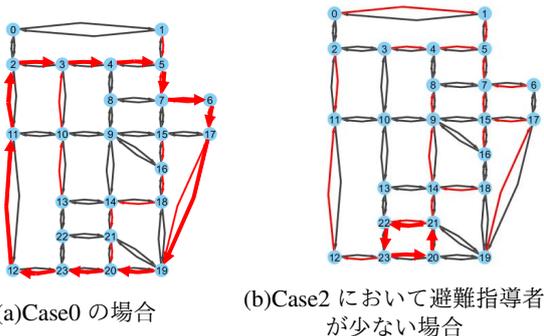


図-11 グリッドロックの発生様子(人口密度中規模において)

あると考えられる。しかし、避難指示者数を減らした場合、図 10 のように人口密度大の場合にはグリッドロックが発生してしまっていることがわかる。さらに、そのグリッドロックの RN 上の発生位置は図 11 のようになっており、他の Case より小さいグリッドロックが早いタイミングで形成されてしまった。よって十分な避難指導者数がない場合はむしろ早くグリッドロックが発生するなどの悪影響がある場合が判明した。

次に Case3 (地域連絡網) では、Case0 (Face to Face) とあまり変わらず効果がないことが判明した。

最後に Case4 (公共放送) では、Case1 (通信手段確保) と同様の効果しか得られず、公共放送による影響が少ないという結果になった。この結果に関して、図 12 のように RN ノード 22 から 23 へ向かう RN リンクに対する全員の平均主観的旅行時間分布の真値とのずれを表すと、Case4 (公共放送) では、他の Case に比べて情報の遅れにより最初のうちは真値とのずれが大きいものの、混雑が続き、公共放送も混雑情報を流し始めると、マスコミノードの影響力の大きさによって渋滞が解消されていくことが判明した。

以上のことから通信手段の確保は比較的效果があり、避難指示者に情報提供は避難指示者が十分にいる場合はとても効果的であることが判明した。一方で、地域

連絡網の作成や公共放送の提供はあまり効果がないという結果になり、提案モデルを用いた避難行動シミュレーションによって施策を評価することができた。

## 7. まとめ

本研究ではエビデンス調査をもとに主観的旅行時間分布更新モデルを提案し、そのモデルに基づいた情報伝播によって経路を選択する交通流シミュレーションを行うことで、災害時の情報ネットワーク強靱化に対する施策を評価した。その結果、IN ノード数の多少によって効果のある施策が変化する可能性があるということが判明した。また、今回は主観的旅行時間を情報として影響解析を行ったが、本提案モデルを用いることで安全性や避難方向などの他の要因を含んだリンクコスト情報の伝播を考慮することも可能であり、汎用性の高い解析を行えると考える。今後の検討課題としては、主観的旅行時間の確率分布を考慮した確率的経路選択を考える必要がある。また、今回の4つのCaseを示すIN形状指標と避難完了時間の関係の導出、メディアや情報提供者への信頼度の違いを考慮した情報伝播モデルの構築、実RNにおけるシミュレーションといったものが考えられる。

謝辞： 本研究は JSPS 科研費 JP26220906 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 古田昌弥, 井料隆雅, 原祐輔, 桑原雅夫: 個々人の情報伝達行動を考慮した避難タイミング決定動学モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM, 2015.
- 2) 畑山満則, 枝廣篤, 多々納裕一: 姉川・高時川流域における地域間連携を考慮した広域避難に関する考察, 京都大学防災研究所年報, Vol.52, pp.91-110, 2009
- 3) Olfati-Saber, R. and Murray, R. M.: Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays, *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 49, no. 9, pp. 1520-1533, 2004.

- 4) 植村恵理:陸前高田市における津波避難の動学的意思決定とその様相, 東京大学修士論文,2012 発表会,Vol.53, CD-ROM,2016
- 5) 福田和輝, 石原雅晃, 井料隆雅:渋滞の延伸を考慮したマルコフ連鎖による動的利用者均衡配分, 土木計画学研究 6) LeBlanc, L., Morlok, E., and Pierskalla, W.: An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem, *Transportation Research*, Vol. 9, No.5, pp. 309-318, 1975
- (2018.??)

## A STUDY ON IMPACTS OF INFORMATION PROVISION ON TRAFFIC STATES UNDER A DISASTER

Anna TAKAYASU, Masao KUWAHARA, Yusuke HARA, Masayuki KUCHII, Takamasa IRYO