

情報伝播における社会ネットワークの形状が グリッドロック発生に与える影響

口井 雅之¹・井料 隆雅²・高安 杏奈³・桑原 雅夫⁴

¹学生会員 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: 188t110t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院教授 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: iryo@kobe-u.ac.jp

³正会員 東北大学情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: takayasu@plan.civil.tohoku.ac.jp

⁴正会員 東北大学大学院教授 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

ドライバーは交通行動の選択枝の良し悪しを判断するのに過去の経験や外部からの情報提供を必要とする。しかし災害時などの非日常的な状況においては、そのような情報が有効とは限らない。そのような場合には道路上の交通混雑に関する情報はドライバー間で伝播されることが予想されるが、情報交換の頻度には制約があり、情報の遅れが生じる。そこで本研究では、そのような情報伝播の遅延が交通混雑に及ぼす影響を災害時のグリッドロック現象に着目し分析した。具体的には、個人の主観的旅行時間分布に関する情報伝播モデルを応用した交通量配分モデルを開発し、情報伝播速度と個人が情報交換を行う相手とのつながりを表現する情報ネットワークの形状がグリッドロック発生に及ぼす影響を数値計算より解析した。その結果、情報伝播によりグリッドロックは緩和されるが、情報伝播が早過ぎると逆にグリッドロックを誘発することが明らかになった。また情報ネットワークの形状によっては全く情報伝播が有効でないことが観測された。

Key Words: information transmission, gridlock

1. はじめに

交通混雑は交通システム上で人々の交通行動の結果として生じるものである。そのため交通行動のメカニズムの差異が巨視的な交通混雑の特徴に影響を及ぼすと考えられる。そして交通行動を解析するためには、人々が交通行動の選択枝の良し悪しを判断する際に必要な情報がどのように人々に行き渡っているかを考える必要がある。交通工学の分野ではそのような情報を得る手段として、過去の経験と外部からの情報 (ATIS) による 2 つが代表的な情報源として挙げられる。これらの情報が事前に人々に広く行き渡っていると仮定できるのであれば、特に問題はない。しかし、もしそうでなければ、すなわち災害時など何らかの事情で過去の経験や外部からの情報が利用できない状況では、人々が情報を得るプロセスつまり情報伝播のプロセスが交通行動に及ぼす影響を考慮しなければならない。

情報伝播の態様には様々なものが考えられるが、なかでも交通行動を行う主体の間での情報交換が重要なものの一つとして挙げられる。交通行動において情報伝播を考慮しなければならない状況が発生するのは、過去の経験や外部からの情報が利用できない状況である

と考えられる。そのような状況ではドライバー間で行われる情報交換が支配的な情報源として卓越すると考えるのは自然であるといえる。

人々の間で行われる情報交換が支配的な状況では、情報伝播の形態によっては、正しい情報が即時に人々に伝わらないこと、すなわち情報の遅れが生じることが既存研究から知られている。Iryo et al.¹⁾ は、各個人が一度しか選択枝を選択できない非日常的な状況においては、情報伝播速度が遅いだけでなく早過ぎることも効用の高い選択枝を選ぶことを阻害することを示している。古田ら²⁾ は、人々の間で交換される情報はあくまで主観的なものであり、その情報に対して個々人は異なる信念を持つとしている。ベイズ学習を模した信念のレベルの更新モデルを提案し、その動学および均衡状態の特性を分析した。これらの既存研究の結果は異なる情報伝播メカニズムが異なる結果をもたらすことを示し、情報伝播メカニズムの差異について考慮する必要性を指摘している。

交通混雑と一口にいてもその態様には様々なものがある。本研究ではドライバー間による情報交換が支配的となる状況として典型的である災害時の分析を意識し、グリッドロック現象を混雑の評価対象とした。災

害時などの交通需要に対して交通容量が著しく不足する場合には、グリッドロック現象が発生することは東日本大震災の東京の事例からよく知られている³⁾。グリッドロック発生の抑制や緩和のための最適な制御が望まれる。グリッドロックはDaganzoによる理論解析⁴⁾がよく知られているが、ドライバーの交通行動の差異が及ぼす影響に関してはまだ詳しく解析されていない。Mahmassani et al.⁵⁾らは交通シミュレーションを用いて経路選択とグリッドロック特性の関係性の分析を行い、adaptive driver の存在がグリッドロックの緩和に有効であることを示した。ここで adaptive driver とは「時々の交通状況に応じて経路を変更するドライバー」をさす。しかし、この研究では外部から適宜ネットワークの完全情報を一定数のドライバーに提供する情報伝播形態を採用しており、外部からの情報提供が利用できない状況における内部のドライバー間の情報交換は特に考慮されていない。災害時に完全な情報を利用者に提供することは困難であることや、利用者に情報提供サービスを使う習慣がないことを考えると、交通システムに関する情報はドライバー間で伝播され、ドライバーは混雑に対する自分自身の信念に従って経路を選択せざるを得ない。

井料ら⁶⁾、高安ら⁷⁾は行動主体の間で行われる情報伝播が交通行動や交通混雑に与える影響を解析した。高安ら⁷⁾は情報伝播時における社会的ネットワークの形状が人々が真の情報を得る速度すなわち情報伝播の遅延に及ぼす影響を明らかにした。

井料ら⁶⁾らはバイズ学習を模した情報伝播モデルを交通シミュレーションと結合し、情報伝播の遅延がグリッドロック発生に与える影響を単純なケースにおいて明らかにした。その結果、情報交換の頻度が高い方が一般的にはグリッドロックは発生しづらいが、人々が情報を信じる程度によっては逆にグリッドロックが発生しやすくなる可能性があることを示した。しかし、このモデルはごく限られたケースのみ行っており、一般性をもたせるには以下の点が十分に検討されていない。

1. 情報の種類

「ネットワークの各リンクが遅れているか否か」という情報に関する信念の水準が「混んでいる」「空いている」の2水準に限られており、現実世界において人々が持つであろう主観的な旅行時間を表現できていない。実際は、各個人はあらゆる値を主観的なリンク旅行時間として持つと想定される。またある一つの値でリンク旅行時間を推定すると考えるよりかは、ある程度の幅を持たせて推定していると考えるのが自然であろう

2. 情報ネットワークの形状

ドライバーが情報交換を行う相手を表現する情報

ネットワークの形状が、各個人が道路ネットワーク内にいる全ドライバーとつながっているとすると完全ネットワークのケースに限定しており、避難時における face-to-face ネットワークや現実の人間関係を表す社会的ネットワークを考慮していない。

以上の課題を踏まえて、本研究では、交通混雑の情報が外生的に提供されない道路ネットワークにおける利用者の情報提供メカニズムとして

- ドライバーは自身が通過したリンクと現在いるリンクの混雑について正確に知ることができる。
- ドライバーは自身の情報ネットワークでつながる他のドライバーから情報を得ることができる。
- ドライバーは得た情報を基に逐次経路選択を行う。を考える。さらに、情報の種類を「混んでいる」「空いている」の2水準に限定するのではなく、各個人はすべてのリンクに対して主観的な旅行時間分布を持つとして、あらゆる値を連続量で表現する。また、情報ネットワークでは、完全ネットワークだけでなく、現実の避難行動において観測される face-to-face、現実の人間関係を表すとされるスケールフリーネットワークを同様に考える。こうすることで、井料ら⁶⁾の情報伝播モデルに比べより現実を記述した、汎用性の高いモデルを構築し、多様なケースを計算することで、情報伝播がグリッドロック発生に与える影響を数値的に評価する。

本稿の構成は以下の通りである。第1章では本研究の背景と目的を説明した。第2章で情報の収集と伝播モデル、それを前提とした経路選択モデルを提案する。第3章ではシミュレーションで使用する交通流モデルを、数値計算で用いるネットワークの諸元とあわせて説明する。第4章で数値計算より得られた結果を示す。第5章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 情報伝播モデル

(1) 情報の種類とその収集

すべてのドライバーは道路ネットワークを構成するすべてのリンクに対して「そのリンクの混雑度合い」に関する信念を独立に保持する。信念は混雑のレベルについての主観的な旅行時間分布と、「自身の経験により得られた情報か否か」の情報源についての経験フラグの2つからなる。自身の経験により得られた情報であれば経験フラグは1に、経験していないリンクであれば経験フラグは0に設定される。ここで経験とは、自身がそのリンクを通過した、もしくは滞在したことがある場合をさす。経験フラグが0のリンクにおける主観的な旅行時間分布は、適当に予測した旅行時間を平均 μ_i^l 、予測誤差 $(\sigma_i^l)^2$ を分散とする正規分布を仮定する。ここで添え字 l はリンク、 i はドライバーを示す。経験

フラグが 0 の未観測リンクに対する主観的旅行時間分布の平均値はそれ自体がパラメータであり、確率分布 $P(\mu_i^l) \sim N(\mu_i^l, (\sigma_{\mu_i^l}^l)^2)$ に従う。信念はあるドライバーがリンクを通過したとき、またはリンクに滞在しているときに収集され、収集された情報はドライバー間で情報交換されることによって伝播される。2.1.a と 2.1.b でリンクの通過と滞在による信念の更新を説明する。

a) 通過による主観的旅行時間分布の更新

あるドライバーはリンクを通過するときに、通過に要した時間が正確にわかるため、その値を真の旅行時間 t_i^* とし、自身の主観的旅行時間分布の平均値を t_i^* で更新する。また自身の観測による誤差は予測誤差よりも小さいと考えられるため、定数として与える観測誤差 $(\sigma_{t_i^*}^l)^2$ で分散の値も更新する。同様に経験フラグの値も 1 に更新する。

b) 滞在による主観的旅行時間分布の更新

通過の場合と同様に、ドライバーは現在いるリンクの滞在時間も正確にわかると考えられる。そのため、滞在時間がそのリンクの自由流旅行時間よりも大きければ、その滞在時間で主観的旅行時間分布の平均値を更新する。このとき、ドライバーは完全にそのリンクを通過しているわけではないので、分散と経験フラグは更新はしない。

(2) 情報伝播モデル

未観測リンクの情報も含め、自身の観測により収集された正確な情報は、以下のルールである 1 人のドライバーから別の 1 人のドライバーへ伝達されることにより伝播する。

0.1 秒ごとに情報交換を行うドライバーのペア数を情報伝播速度 γ (pair/0.1sec) とする。情報交換を行うドライバーのペア数の大小はドライバーの経験によって得られた真の旅行時間が伝播される速度に直結するため、本研究では情報伝播速度としている。情報伝播の具体的なメカニズムは以下の通りである。

1. シミュレーションのタイムステップ (0.1 秒) ごとに無作為に全ドライバーの中から γ ペア選ばれる。各ペアに送り手と受け手を設定する。受け手は、送り手の情報ネットワークで繋がっている個人の中から選ばれる。
2. 送り手は、自身の全リンクに対する主観的旅行時間分布の平均値を受け手に伝える。
3. 受け手は以下のルールに基づいて自身の主観的旅行時間分布を更新する。
 - A). 自身が経験していないリンク (経験フラグ = 0) であれば、送り手から得た値で自身の主観的旅行時間分布の平均値分布をベイズ更新する。更新された平均値分布から予測分布を求

める。

- B). 自身が経験しているリンク (経験フラグ = 1) であれば、なにもしないとする。

3.A) のベイズ更新の具体的な手法は次節で説明する。3.B) の設定は自身の経験により得られた情報は他人から得た情報よりも強いとする考えに依拠している。数値計算では、 γ の値として、 $\gamma = \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 0, 1, 10, 100$ の 7 種類を用いる。 $\gamma = 0$ は情報伝播がない場合を示す。

a) 情報伝播による主観的旅行時間分布の更新

情報伝播による主観的旅行時間分布の更新では、高安ら⁸⁾の更新モデルを用いる。このモデルは、主観的旅行時間分布の平均値分布をベイズ更新し、主観的旅行時間分布を推定するベイズ推定の考え方を用いる。ベイズ推定手法は、他者から得られたデータで自身の分布系 (事前分布) を更新し事後分布を求めるベイズ更新と、事後分布から次に得られるデータを予測する予測分布を求める予測の二つの手法からなる。 $k-1$ 時の主観的旅行時間分布の平均値分布を事前分布とし、他者から得られる情報からベイズ更新することで k 時の主観的旅行時間分布の平均値分布を求め、それを用いて主観的旅行時間分布を予測する。

b) 主観的旅行時間分布の平均値分布のベイズ更新

個人 i の道路ネットワーク上の未観測リンク l に対する主観的旅行時間分布の平均値分布は $p(\mu_i^l)$ と表せる。この事前分布に対して、情報ネットワークで繋がる他者 j から情報 μ_j^l を得ると、その情報に対して平均 μ_i^l 、分散が $(\sigma_{other}^l)^2$ 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 μ_i^l だと予測している際に情報 μ_j^l を得る確率であり、尤度分布の分散 $(\sigma_{other}^l)^2$ が小さいほど他人の情報に対する信頼度が高いということになる。尤度分布の分散 $(\sigma_{other}^l)^2$ は外生的に与えている、ドライバー間で共通の値であり、シミュレーションにおいて不変である。ベイズ更新の考え方を用いると事前分布と尤度の積が更新後の事後分布 $p(\mu_i^l | \mu_j^l)$ に比例するので、この更新は (1) 式のように表現できる。

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

c) 予測分布 (事後の主観的旅行時間分布) の導出

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。

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

d) 各分布が正規分布の時の計算

本研究では、ドライバーの主観的旅行時間分布の形状として正規分布を仮定している。また一度の情報交換では特定の 1 人から情報を得る。よって、(1) 式で表現される主観的旅行時間分布の平均値分布の更新は、(3)、(4) 式のように表現することが可能である。

$$\mu_{\mu_i}^l(k) = \frac{\sigma_{other}^{l^2}}{\sigma_{other}^{l^2} + \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)} \mu_{\mu_i}^l(k-1) + \frac{\sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)}{\sigma_{other}^{l^2} + \sigma_{\mu_i}^{l^2}(k-1)} \mu_j^l(k-1) \quad (3)$$

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

また、(2) 式で表現される主観的旅行時間分布の更新は上記のパラメータを用いて (5)、(6) 式のように表現することが可能である

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

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

(3) 経路選択モデル

情報伝播による影響を経路選択に反映させるため、各ドライバーは逐次的に選択経路を変更する。具体的には、各ドライバーはノードに到着する際に、その時点で持ち合わせている各リンクの主観的旅行時間分布の平均値をそのリンクの旅行時間として現在地から目的地までの最短経路（経路旅行時間が最小となる経路）を計算する。計算された最短経路を選択経路として次の流入リンクを決定する。ドライバーは選択経路だけ自ら変更する。すなわち出発時間などは所与のものとして与える。

3. 交通流シミュレータとネットワーク

(1) 交通流モデル

福田ら⁹⁾が開発した交通流シミュレータをそのまま用いる。この交通流シミュレータでは、車両は離散的なものとして扱われ、出発地、到着地、出発時刻はそれぞれ外生的に与えられる。経路は、2.3 で設定したルールに基づいてトリップ内で逐次更新される。各リンクは流出容量（最小ヘッドウェイ）と最大収容可能台数を変数に持つ。リンク内の車両の存在台数がそのリンクの最大滞留可能台数を超えると、車両はそのリンクに流入できず、上流リンクでスペースがあくまで待たなければならない。どのリンクでも First in First out (FIFO) 原理が適用される。すなわち、車両はリンクへの流入順と同じ順番でそのリンクから流出する。合流比は 1:1 と設定している。

(2) 道路ネットワーク

数値計算では 24 個のノードと 76 本のリンクからなる Sioux Falls Network¹⁰⁾ を用いる。幾何構造と自由流旅行時間はオリジナルのものをそのまま用いている。リンク長は車両の走行速度を一律に 40km/h と設定しそれにオリジナルの自由流旅行時間をかけることで求めている。1km あたり 100 台車両が存在できると仮定し、先ほど求めたリンク長から各リンクの最大滞留可能台数 (veh) を算出している。OD 交通量はオリジナルと同様のパターンのものを用いているものの、本研究では OD 交通量を変化させながらグリッドロック発生回数を比較するため、車両台数だけは 8875 台から 22041 台の間で増減させている。オリジナルの OD 交通量に OD パターンによらない一定の割合をかけることによって計算している。OD 交通量に関わらず、すべての車両が 10 分間の間に流出しきるように等分に出発間隔を設定している。交通シミュレーションにおけるグリッドロックの定義は様々であるが、本研究では流出量 0 のリンクがループを形成するとグリッドロックと判定し、計算を終了させている。タイムステップごとにドライバーのペアを無作為に γ ペア選び情報交換を行うとしており、ランダム性を含んでいる。そのため同じ交通量でもグリッドロックが発生する場合と発生しない場合がある。よって同様の計算を 100 回行い、100 回におけるグリッドロックの発生回数を求めることでグリッドロックの発生しやすいさを求める。以上の設定のもと、情報伝播速度と情報ネットワークの形状をパラメータとして変化させ、交通行動に及ぼす影響を数値計算より分析する。

(3) 情報ネットワーク

情報ネットワークとは、情報を交換しあう個人間の繋がりを表現するネットワークである。数値計算では、情報ネットワークの形状として、完全ネットワーク、face-to-face、スケールフリーネットワークの 3 パターンを比較する。完全ネットワークとは各個人がそのネットワーク内にいる全員と繋がっているネットワークである。face-to-face は、現実の避難行動において観測される情報ネットワークの形態である。本研究では、あるドライバーは情報伝播時において同じリンク上にいるドライバーとだけ情報交換すると表現している。

スケールフリーネットワークとは現実世界で頻繁に観測されるスケールフリー性を要する複雑ネットワークである。スケールフリー性とは、次数分布がべき則に従い、平均距離が短く、クラスター係数が大きいとする 3 つの特徴を有するネットワークである。文献¹¹⁾に記載されているコンフィギュレーションモデルの生成アルゴリズムに基づき、最小次数を 30、べき指数を 3

とする、べき分布を設定し、スケールフリーネットワークを作成した。各 OD 交通量におけるスケールフリーネットワークの平均距離 L は、どの交通量においても 4 程度である。

(4) 数値計算における各分布の設定

数値計算では主観的旅行時間分布をはじめ、各分布を表 1 のように設定した。自身の経験による分散（観測誤差）が最も小さく、次に未経験リンクの分散よりも他者からの情報による分散の方が小さいと考えられる。そのため分散の大小関係は以下のように設定している。数値はシミュレーションで用いる道路ネットワークの特徴から便宜的に定めている。

(5) 数値計算

数値計算では、情報伝播速度 $\gamma = \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 0, 1, 10, 100$ の 7 通り、情報ネットワークは、完全ネットワーク、スケールフリーネットワーク、face-to-face の 3 通りを計算し比較する。全 OD 交通量を 8875 台から 22041 台まで変化させたいうでの各条件におけるグリッドロック発生回数を図-1, 図-2, 図-3 に示す。いずれのケースにおいても全 OD 交通量が多いとグリッドロックの発生回数が増加する傾向がある。情報伝播速度と情報ネットワークの形状の違いによる変化は、全 OD 交通量 15000 台付近で見られるため、図-4, 図-5, 図-6 に各ケースにおける 15000 台付近の拡大図を情報伝播速度が小さい場合と大きい場合に分けて示す。

情報伝播速度の影響は、完全ネットワーク（図-4）とスケールフリーネットワーク（図-5）の場合にあらわれている。図-4-a と図-5-a は、情報伝播速度が小さい場合のグリッドロック発生回数を示している。 $\gamma = 0$ の情報伝播がない場合から、 $\gamma = \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 1$ と情報伝播速度が徐々に大きくなるにつれて、グリッドロック発生回数が減少している。一方で、情報伝播速度 γ の値が

10, 100 と $\gamma = 1$ より大きくなるにつれて、 $\gamma = 1$ の場合と比べてグリッドロック発生回数が増加している（図-4-b, 図-5-b）。また $\gamma = 100$ では、情報伝播がない場合（ $\gamma = 0$ ）にグリッドロックが生じない OD 交通量においてもグリッドロックが生じる結果になった。

情報ネットワークの形状の影響は、face-to-face の場合において顕著に現れており、face-to-face では全体的に情報伝播によるグリッドロック発生回数の改善は見られなかった（図-6）。さらに $\gamma = 10, 100$ と情報伝播速度が大きい場合は、グリッドロックが発生し始める全 OD 交通量が、情報伝播がない場合よりも小さくなった。完全ネットワークと、スケールフリーネットワークの違いはほとんど確認されなかった

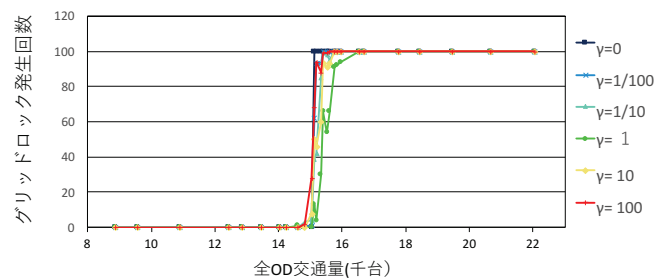


図-1 グリッドロック発生回数；完全ネットワーク

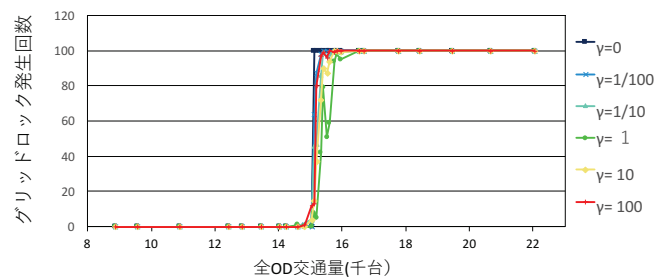


図-2 グリッドロック発生回数；スケールフリーネットワーク

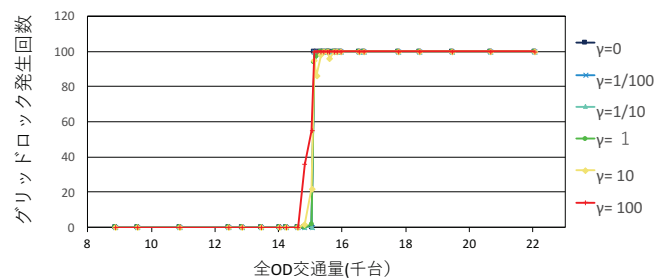


図-3 グリッドロック発生回数；face-to-face

表-1 数値計算における各分布の設定

分布	平均値 [0.1s]	分散 [0.01s ²]
経験リンクに対する 主観的旅行時間分布の 平均値分布	観測値	0.1
未経験リンクに対する 主観的旅行時間分布の 平均値分布	自由流旅行時間	100
尤度分布の分散 (他者の情報に対する 信頼度)	なし	10

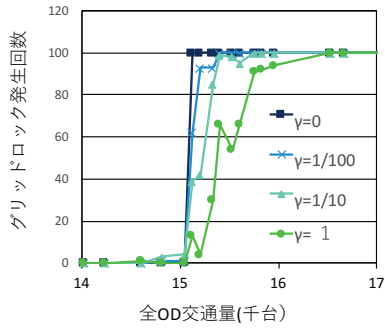


図-4-a $\gamma = 0, \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 1$

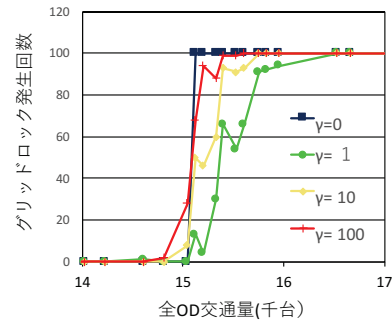


図-4-b $\gamma = 0, 1, 10, 100$

図-4 グリッドロック発生回数：完全ネットワーク

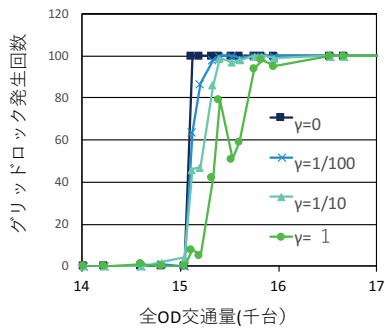


図-5-a $\gamma = 0, \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 1$

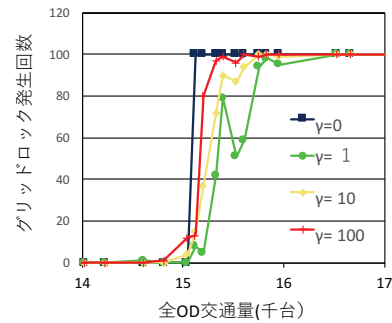


図-5-b $\gamma = 0, 1, 10, 100$

図-5 グリッドロック発生回数：スケールフリーネットワーク

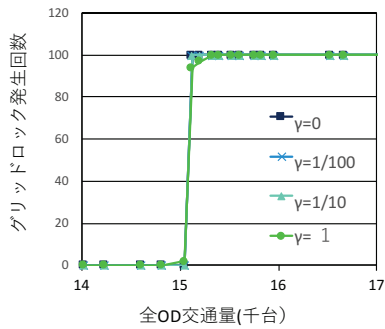


図-6-a $\gamma = 0, \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 1$

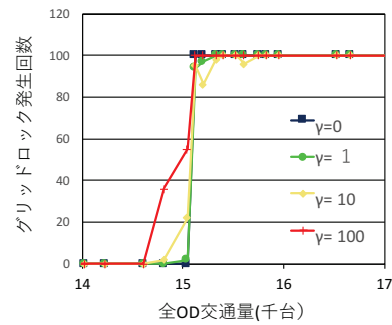


図-6-b $\gamma = 0, 1, 10, 100$

図-6 グリッドロック発生回数：face-to-face

4. まとめと今後の課題

全体を通して、車両のミクロな情報伝達が車両全体のマクロな交通混雑に影響を及ぼすことが明らかに

なった。数値計算結果から、完全ネットワークやスケールフリーネットワークにおいては、情報伝播の促進がグリッドロックの緩和に基本的には有効であることが示された。この結果は、Mahmassani et al.⁵⁾の結果と直

感的に整合するものといえる。一方で、情報伝播速度が早過ぎると逆にグリッドロックが発生しやすくなることが示され、Iryo et al.¹⁾と似た結果が得られた。適切な情報伝播速度においては、より新しい情報が情報伝播によりドライバーに供給されることによって、ドライバーが効率的にグリッドロックが発生しそうな箇所を避け、結果としてその発生を抑制していると推測できる。情報伝播速度が早過ぎると、すべてのドライバーが同じ情報を保持し、選択経路が集中するためにグリッドロックが発生したと考えられる。

情報ネットワークの形状が face-to-face の場合は、ドライバーの情報交換によりグリッドロックが改善するどころか発生しやすいことがわかった。これは、情報伝播速度が早い場合と同様の現象、すなわちドライバーが同じ情報を保持するために選択経路が集中する現象がリンク単位で起きているのが原因であると推測される。この結果は情報伝播速度だけでなく、情報ネットワークの形状を考慮する重要性を示唆する。特に face-to-face は現実の避難行動において観測されるネットワークであることから、災害時には通信インフラの強靭化を図りテレコミュニケーションを可能にするとともに、十分な制御が求められるだろう。

今後の課題について述べる。今回の結果は、Sioux Fall Network の特徴に依るところが大きい可能性があり、さらに一般的な知見を得るためには様々な道路ネットワークで計算し比較する必要があるだろう。情報の送り手の観測・未観測を無視し、他人からの情報には一律で信頼度を設定している点や取得された情報の時刻に重みをつけていない点など、情報伝播モデルにおいても課題が残る。今後も計算アプローチをひきつづきとするのであれば、より現実を再現した情報伝播モデルへの改善を要する。行動原理についても、情報が不確かな場合において逐次的な最短経路探索の過程は単純すぎるといえよう。時間割引率や探索行動の考慮も必要となろう。本研究では計算アプローチから、情報伝播がグリッドロック発生に及ぼす影響の評価を行なったが、今後は計算アプローチによる影響解析に並行して理論による理解も望まれる。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金(基盤研究(S))「移動体観測に基づく交通ネットワークの動的リスクマネジメント(課題番号 26220906)」, 代表: 桑原雅夫)の助成によりなされた。この場を借りて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Iryo, T., Yamabe, K., and Asakura, Y.: Dynamics of information generation and transmissions through a social network in non-recurrent transport behaviour, *Transportation Research Part C*, Vol.20, No.1, pp.236–251, 2012.
- 2) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.51, 2015.
- 3) 清田裕太郎, 岩倉成志, 野中康弘: 東日本大震災時の都区内地道のグリッドロック現象に関する基礎的考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.46, 2012.
- 4) Daganzo, C.: Urban gridlock: macroscopic modeling and mitigation approaches, *Transportation Research Part B*, Vol.41, No.1, pp.49–62, 2007.
- 5) Mahmassani, H. S., Saberi, M., and Zockaie, A.: Urban network grid-lock: theory, characteristics, and dynamics, *Transportation Research Part C*, Vol.36, No.1, pp.480–497, 2013.
- 6) 井料隆雅, 古田昌弥, 口井雅之, 桑原雅夫: 情報伝播の遅延が交通混雑に与える影響, 土木計画学研究発表会, Vol.55, 2017.
- 7) 高安杏奈, 原祐輔, 桑原雅夫, 井料隆雅: 社会的ネットワーク上の情報伝播を考慮した動的交通量配分問題, 土木計画学研究発表会, Vol.55, 2017.
- 8) 高安杏奈: 災害時の情報伝播がネットワーク交通状態に与える影響, 修士論文, 2018.
- 9) 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, 土木計画学研究発表会, Vol.53, 2016.
- 10) LEBLANC, L. J., MORLO, E. K., and PIERSKALL, W. P.: An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem, *Transportation Research*, Vol.9, No.5, pp.309318, 1975.
- 11) 増田直紀, 今野紀雄: 複雑ネットワーク 基礎から応用まで, 近代科学社, pp. 250–252, 2010.

(2018. 4. 27 受付)

INFLUENCE OF SOCIAL NETWORK STRUCTURE FOR INFORMATION PROPAGATION ON GRIDLOCK GENERATION

Masayuki KUCHII, Takamasa IRYO, Anna TAKAYASU and Masao KUWAHARA