

Social Network に基づいた情報伝播による 主観的交通状態の変動

高安 杏奈¹・原 祐輔²・桑原 雅夫³

¹非会員 東北大学大学院情報科学研究科 博士課程前期 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: takayasu@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院助教 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: hara@plan.civil.tohoku.ac.jp

³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 6-3-09)

E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究は、Social Network (SN) に基づく情報伝播によって更新された主観的道路所要時間と真の交通状態との乖離に影響を与える要因を数値実験によって考察したものである。影響を考える際は SN 形状、他者からの情報の採用度、情報伝播の重みづけの3つを考え、様々な条件の時の情報更新のステップごとの主観的所要時間と真の道路所要時間の誤差を求めた。誤差の比較検証によって、それぞれのパラメータが真値への収束速度や収束の途中経過に大きな影響を与えることが確認された。また、情報伝播モデルを理論解析するために、ネットワーク上の反応拡散方程式を用いた定式化を行った。

Key Words : *information transmission, social network, pagerank*

1. はじめに

近年、インターネットやチャットなどの情報発信・交換システムの発展に伴い、様々な情報が迅速かつ簡単に入手可能になった。人々は交通経路を選択する際、それらの情報と自身の経験に基づく道路情報から主観的な道路交通状態を更新し、行動を決定している。しかし、災害時など道路状況の変化により道路情報が不完全かつニュースなどのオーソライズされた情報が無い場合は、知り合い同士の情報伝播によって形成された主観的交通状態によって経路を決定すると考えられる。そのため、災害時などの異常事象時には、個人の発する情報の伝播が交通状態に大きな影響を与えることが予想される。災害時における交通混雑や情報による混乱を避ける正しい情報提供や誘導を行うにあたって、情報伝播メカニズムを理解することと情報伝播によって更新された主観的な道路交通状態と真の状態の乖離に大きな影響を与える要因を特定することが必要である。影響を与えうる要因の一つである個人間のつながりは、社会学やネットワーク科学における Social Network (SN) の考え方をを用いることで分析可能である。

そこで本研究では、SN の形状や他者からの情報の採用度、情報伝播重みづけ隣接行列といったパラメータを持つ各個人の主観的道路所要時間の情報フローのモデル化を行う。次に、数値シミュレーションによって、モデルのパラメータや SN 形状を変化させたときの主

観的道路交通状態と真の状態の誤差の比較をすることでモデルの性質と影響要因を明らかにする。また、理論解析的にパラメータと情報伝播速度の関係を示すための定式化を行う。最後に、提案モデルがネットワーク上の反応拡散方程式の一種であることを示し、SN のグラフラプラシアンと代数的連結度が本解析において重要な意味をもつことに関して考察する。

2. 既往研究

災害時における避難行動のベンチマークを示すことを目的とした研究は様々に行われている。避難タイミングを決定するための個人間の情報伝達フローの研究として、古田ら¹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ことで更新していくモデルを提案した。このモデルでは地域レベルの安全情報を考慮したものであり、人間関係を考慮せず、地域内の住人全てを対象として情報を流している。しかし、個人が最短経路を選びながら行動していく避難行動モデルを考慮し、道路リンクの所要時間といった詳細な情報について議論する際は、その道路リンクを観測した人とのつながりによって自分の持つ道路リンクの所要時間情報が正しい情報へと修正されるまでの時間が大きく変化してしまう可能性が考えられる。そこで、本研究では個人間の

繋がりを SN で表わし、SN で繋がる個人にのみ情報を流せる時の各道路リンクの所要時間の更新といった詳細な情報の伝播モデルを考えた。

情報を流す際のネットワーク上のノードの重みづけは、1990 年代以降多くの研究がされている。ウェブにおけるページの信用度の評価手法として Brin and Page²⁾ は信用度の高いページからリンクの出ているページの信用度を高いと重みづけするページランクの考え方を提案した。ページランクについての詳細は第 4 章で記述している。また、ページランクの考え方の応用として、様々な分野において重みづけの研究が行われたが、Pujol et al.³⁾ は連絡回数などの情報を信用度更新式組み込むことによって人間関係の強さを考慮した信用度の重みづけ手法を提案した。本研究においても個人の情報の信用度の重みづけ方法としてページランクの考え方を適用し、情報伝播のモデル化をすることは可能であると考えられる。

ネットワークにおける情報の拡散速度とネットワーク構造の関係の理論解析的な研究はグラフ理論の分野で多く研究されている。Spielman⁴⁾ や Li et al.⁵⁾ は、流体熱力学の分野における連続体の反応拡散方程式を離散化させて考えることによってネットワーク上のノードの情報量の反応拡散方程式を導いた。本研究では、情報の正しさを考慮し、全員が正しい情報を得ることを定常状態とした情報拡散を考えるため、このネットワークの反応拡散方程式を応用することで理論解析可能だと考える。

3. 問題設定

本研究では情報の更新方法の違いによる真値との誤差の変動を考察するため、道路ネットワークと SN の形状は情報のやりとりを繰り返しても不変であると仮定する。

(1) 交通空間条件

対象とする道路ネットワークのリンクを $l \in \mathbf{L}$ 、ノードを $v \in \mathbf{V}$ とし、各リンク l はリンク所要時間 t_l を持つと仮定する。この所要時間を真のリンク所要時間と呼ぶ。

(2) 各個人の条件

道路情報を交換し合う各個人を $i \in \mathbf{N}$ とする。各個人は道路ネットワークの全てのリンクに対して主観的リンク所要時間 $\mathbf{t}^i = (t_1^i, t_2^i, \dots, t_l^i)^T$ を持つ。また、全ての個人のリンク所要時間を並べた行列を $\mathbf{T} \in \mathbf{R}^{|\mathbf{L}| \times |\mathbf{N}|}$ とする。

各個人 i 同士の関係を知り合いか否かを定義する無向リンクの SN の形状によって表す。このとき、SN の隣接行列を $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{|\mathbf{N}| \times |\mathbf{N}|}$ とすると、行列の要素 A_{ij} は i と j が SN 上のリンクで繋がっているときは 1、繋がっていないときは 0 として表す。また、 $A_{ii} = 0$ とする。

本研究で対象とする SN は連結グラフとし、連結成分が 2 以上のグラフ (任意の 2 人の個人間に経路が存在しないグラフ) は対象としない。

(3) 各個人の主観的所要時間の初期値の設定

前節で定義した各個人はそれぞれ道路ネットワーク上のあるノード v に存在するとし、各個人は v に接続している道路リンクの所要時間を観測できると仮定し、その道路リンクの主観的所要時間は真の所要時間と一致する。一方で、未観測リンクの主観的所要時間は任意の値を初期値として設定する。

(4) 各個人の情報伝播の設定

各個人は SN で接続している他者から、所要時間情報を受け取る。

そのため、情報フローを表わすため、SN の隣接行列 \mathbf{A} が重要な役割を行う。また、個人間の情報の重みづけを表現するために、重みづけ隣接行列を用いることも可能である。この設定の違いについては次章で後述する。

4. 主観的所要時間情報フローのモデル化

本研究において各個人は SN で接続された別の個人から得た情報や自分で観測した情報に何らかの重みづけをして受取り、その情報をもとに主観的所要時間を更新し、更新された情報を SN で接続された別の個人へ流すと仮定する。この情報フローのモデル化を行う。

(1) 情報フローモデル

SN で接続された個人との情報のやり取りとそれに基づいた自分の主観的所要時間の更新を一つのステップとし、このステップ数を k ($k = 1, 2, \dots$) とする。 k ステップ行ったときの個人 i の道路リンク l に対する主観的所要時間は $t_l^i(k)$ と表わす。

k ステップ時において、個人 i が道路リンク l に対して、SN で接続している個人から受け取る情報は $\sum_j t_l^j(k) \cdot A_{ji}$ として表現できる。一方で、個人 i は道路リンク l に対して $t_l^i(k)$ の主観的所要時間を持っている。そこで、個人 i は $k+1$ ステップの主観的所要時間を 2 つの所要時

間の線形結合によって更新すると仮定する.

$$t_i^j(k+1) = (1 - |f_i| \theta) \cdot t_i^j(k) + \theta \cdot \sum_{j \in N} t_i^j(k) \cdot x_{ji} \quad (1)$$

ここで, f_i は個人 i と接続する個人の集合, $|f_i|$ は個人 i と接続している個人数, $\theta \in (0, |f_i|)$ は他者の情報の採用度を表わすパラメータであり, θ が $|f_i|$ に近づけば他者の情報をより取り込み, 0 に近づけば自身の所要時間に固執することを表わす.

一方, 自身が観測した道路リンクについては, 真の所要時間を取得しているため, 他者の情報を採用せずに更新しないと仮定する.

つまり,

$$t_i^j(k+1) = t_i^j(k) \quad (2)$$

とする.

(2) 情報フローモデルの行列表記

上記のモデルはそれぞれのパラメータを行列表現することで, 変数やネットワーク全体の情報フローモデルとして (3) 式のように簡潔に表わすこともできる.

$$\mathbf{T}(\mathbf{k}+1) = (\mathbf{1}\mathbf{1}^T - \mathbf{F} \circ \Theta) \circ \mathbf{T}(\mathbf{k}) + \Theta \circ \mathbf{T}(\mathbf{k}) \cdot \mathbf{A} \quad (3)$$

このとき, T, A はそれぞれ前章で説明した主観的なリンク所要時間と重みづけ隣接行列である. $\Theta \in \mathbf{R}^{N \times L}$ は前節の他人の主観的所要時間の採用割合を行列表記したものである. $\mathbf{F} \in \mathbf{R}^{N \times L}$ は個人ごとの f_i をまとめたベクトル $\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_i)$ を各道路リンク分まとめた行列である. また, $\mathbf{1}$ は要素が全て 1 であるベクトルを表わしている. $(\cdot) \circ (\cdot)$ は各行列の要素同士の掛け算を表わすアダマール積である.

(3) 情報フローの重みづけ設定

本研究では等配分情報伝播とページランク重みづけ情報伝播の二つの隣接行列を考慮する.

a) 等配分情報伝播

SN においてリンクで接続している各個人の情報の重みを全て等しいと仮定した単純な情報伝播を等配分情報伝播と呼ぶ. 具体的には, SN の形状を表わす隣接行列 \mathbf{A} をそのまま採用する.

b) ページランク重みづけ情報伝播

現実の各個人は他人に対して等しい情報信頼度は持っておらず, 何らかの重みづけをしていると考えられる. Brin and Page²⁾ は Web ページ上の各ページの信用度を SN の形状に依存して重みづけ更新していくページランクの考え方を提案した. ページランクではリンクの多いノードの信用度が高くなり, また信用度の高いノードと直接繋がっているノードの信用度が高くなるように設定されている. また, Pujol et al.³⁾ は人間関係における個人の信頼度に同様の考えを採用している. 信頼

度の高い人がより多く接続している人はより信頼できるという考え方は合理的であるので, 本研究でもページランクに基づく情報フローを考える.

ページランクは隣接行列を列で正規化した正規隣接行列の固有値が 1 のときの固有ベクトルで表わすことが可能である. SN 形状によって決定されたページランクと隣接行列のアダマール積を正規化し, 各 SN 上のノードの次数をかけたものを本研究のページランク重みづけ隣接行列とした.

5. 数値実験による情報伝播の考察

本研究では, SN 形状や各種パラメータが, 情報伝播に与える影響を考察する. 具体的にはそれらが, 主観的所要時間と真の道路リンク所要時間の平均二乗誤差 (RMSE) に与える影響を分析する.

まず, 未観測道路リンクの所要時間に対する初期値とパラメータ θ が誤差の収束の定常状態に与える影響を解析し, その後, 以下の二点について提案モデルの挙動分析を行う.

仮説 1 SN 形状が情報伝播に与える影響

仮説 2 重みづけ隣接行列 \mathbf{X} が情報伝播に与える影響
なお, 定常状態はステップ数 k を極限まで大きくした時の提案手法による主観的所要時間と真値との RMSE 値を指す.

(1) 本研究の数値実験の設定

a) SN の形状の設定

本研究では図 1 のようなノード 6 個の特徴的な小さいネットワークを 6 パターン考えた.

b) 各個人の初期情報の獲得の設定

本研究では図 2 で示す道路ネットワークに対して, SN 上の個人を配置した.

このとき, 全体の道路観測率が 13.9% (各個人が周囲の 3, 4 リンクを観測) のとき, 27.8% (周囲の 6, 8 リンクを観測), 41.7% (周囲の 9, 12 リンクを観測) の 3 つのパターンを考える. なお, 41.7% の際は図は省略した.

c) 重みづけ隣接行列の設定

前章で説明した等配分情報伝播とページランク情報伝播に基づく 2 パターンの情報更新について考える.

(2) 未観測道路リンクの所要時間に対する初期値とパラメータ θ による影響

SN 得以上を 1-5 型に設定した際の未観測道路リンクの所要時間を 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 に設定した場合の RMSE をそれぞれ比較した結果を図 3 に示した.

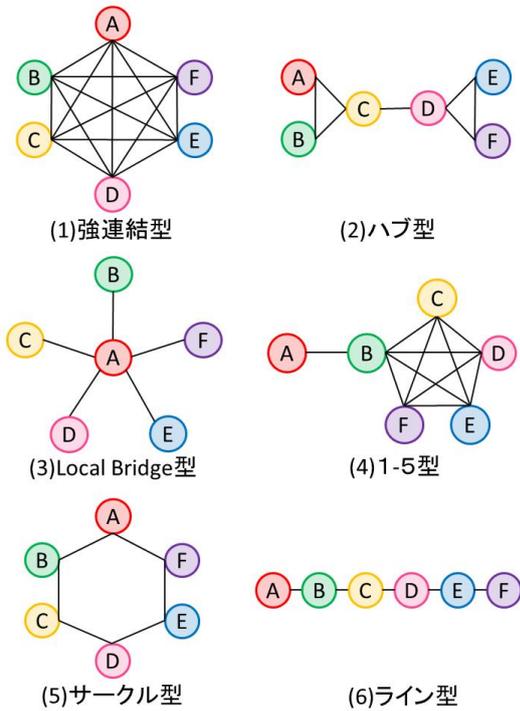


図-1 SN 形状-小さいネットワーク-

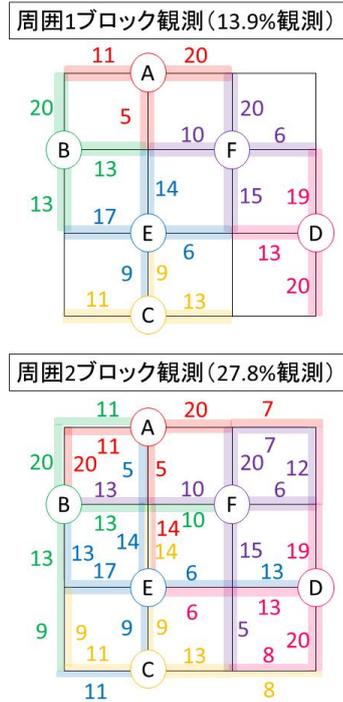


図-2 道路ネットワーク-小さいネットワーク-

図 3 より未観測道路リンクの所要時間は真の道路リンク所要時間との誤差が大きくなるにつれて、RMSE の定常状態への収束速度が遅くなっていることが分かる。

また、1-5 型の時のパラメータ θ を 0.1, 0.3, 0.5, 0.9 に設定した場合の RMSE を比較した結果は図 4 のようになり、パラメータ θ が大きくなるに連れて、RMSE の定常状態への収束速度は速くなっていることがわかる。

以上の結果より、これらのパラメータは RMSE の定常状態への収束速度には大きな影響を与えるが収束挙動には影響はなく、モデルの挙動分析の際には値を固定して考えても支障が無いので、以降の実験においては未観測道路リンクの所要時間に対する初期値を 50、パラメータ θ を 0.3 と設定する。

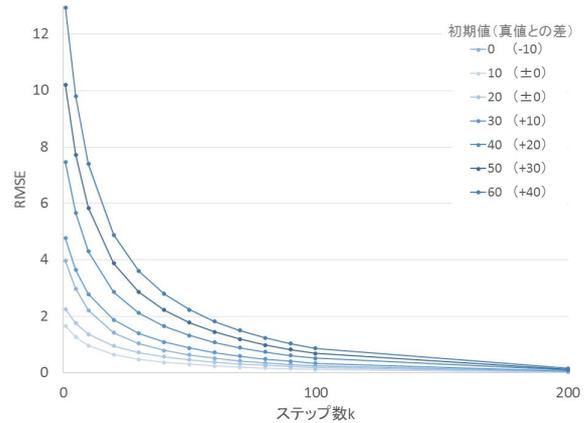


図-3 1-5 型における未観測道路リンクの所要時間の初期値による誤差の変動

(3) SN 形状が RMSE の定常状態に与える影響

SN の形状を 1-5 型、ハブ型、Local Brodge 型、強連結型、ライン型、サークル型の 6 通りで変化させた際の RMSE の収束の様子は図 5 に示した。図 5 より、どの形状でも誤差は単調減少し、最終的には 0 に収束している。本研究の SN 形状 6 通りのうちでは、強連結型の収束速度が最も速く、ライン型が最も遅い。また、1-5 型やハブ型ではステップ数が 200 回以下の点において収束速度を表わす曲線が他の形状における収束速度曲線と交わっており、SN 形状は RMSE の収束に非線形な影響を与えていることが判明した。

(4) 情報伝播の重みづけが RMSE の定常状態に与える影響

本研究では等配分情報伝播とページランク重みづけ情報伝播の二つの情報伝播方法による RMSE の収束速度の違いを RMSE が 0.01 より小さい値をとったときの収束ステップ数を比較することによって調べ、図 6 の様な結果を得た。強連結型、サークル型、ハブ型では等配分情報伝播の場合とページランク重みづけ情報伝播の場合で同じ値をとったので図からは省略した。図 6 より、一般に道路観測率が上がると収束ステップ数は下がり、特に 1-5 型のページランク情報伝播におい

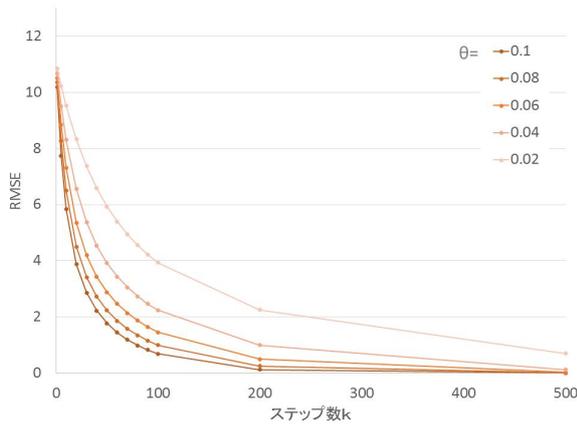


図-4 1-5型におけるパラメータ θ による誤差の変動

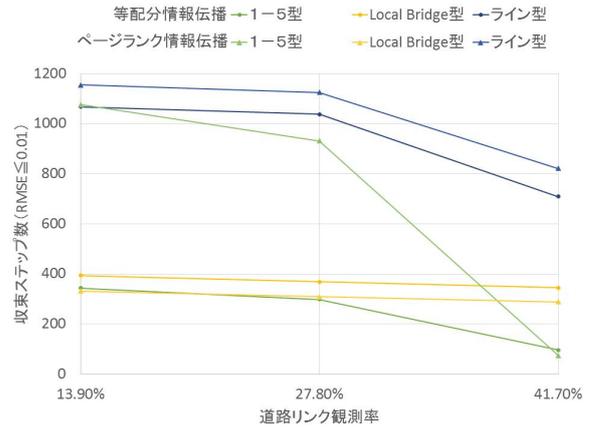


図-6 道路リンク観測率と収束ステップ数の関係

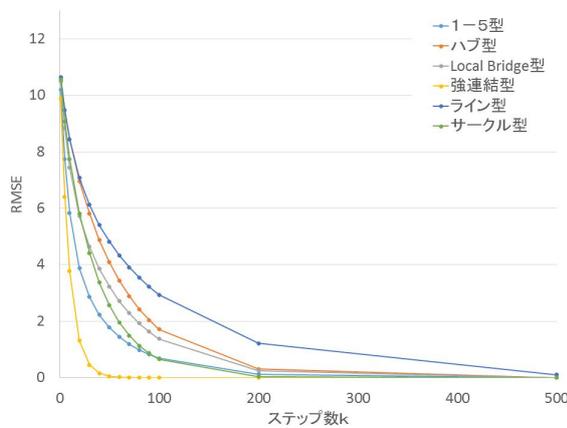


図-5 SN 形状による誤差の変動

では、観測率を 27.8% から 41.7% に上げた際の収束速度は大きく上がっている。また、SN 形状によって等配分情報伝播とページランク重みづけ情報伝播の収束速度の差も様々であることから、ネットワーク形状ごと隣接行列が RMSE の収束に非線形な影響を与えており、収束速度は道路の観測率に影響されて変動すると考えられる。

(5) 数値実験に用いる SN 形状の特徴量

前節により、本研究での 6 つの提案 SN 形状における収束の違いについては考察できた。本節では、提案形状を 4 つの特徴量で評価して比較することで、SN 形状の特徴を収束速度の関係を明らかにする。

a) 平均次数

ノード i の接続リンク数を k_i とした時、平均次数は次式で表わせる。

$$\langle k \rangle = \frac{\sum_i k_i}{N} \quad (4)$$

b) 平均距離

あるノード i と j の距離 $d(i, j)$ はそのノード間を往来するために通らなければならない最小リンク数で表わす。このとき平均距離は次式で表わせる。

$$D = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq N} d(i, j) \quad (5)$$

c) クラスタ係数

クラスタとはノードが三角形にリンクで結ばれている構造をいう。 m_i を i を含む三角形の数だとするとクラスタ係数は以下のように表わせる。

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{k_i(k_i-1)/2} \quad (6)$$

d) 代数的連結度

SN 形状から求められる隣接行列 A と対角上に各ノードの次数 k を代入した次数行列 D を用いると、ラプラシアン行列 L は以下の式で表わせる

$$L = D - A \quad (7)$$

Fiedler⁶⁾ によるとこのラプラシアン行列はグラフラプラシアンとも呼ばれる。ラプラシアン行列の固有値のうち 0 を除く最小固有値 λ_1 は、グラフの連結性の強さとなることが知られている。この固有値は代数的連結度と呼ばれる。また、この固有値 λ_1 に属する固有ベクトルはフィードラーベクトルと呼ばれ、グラフ構造内の密連結クラスタ構造の抽出に用いられる。

e) 本研究での各特徴量値

SN の形状によるモデルの挙動を調べるために、SN の特徴量と誤差減少速度の統計的關係を調べた。

本研究で用いる $N = 6$ の 6 つの SN における各特徴量は表 1 である。

(6) SN 形状の特徴量と誤差減少速度の關係

ステップ数 $k = 1$ のときと $k = 10$ のときの誤差の差をステップ数 k の差で割ったものを誤差減少速度とし、

表-1 各 SN 形状の特徴量

	平均 次数	平均 距離	クラスター 係数	代数的 連結度
強連結型	5.00	1.00	1.00	6.00
ハブ型	1.67	1.67	0.00	1.00
Local Bridge 型	2.33	1.80	0.78	0.44
ライン型	1.67	2.33	0.00	0.27
サークル型	2.00	1.80	0.00	1.00
1-5 型	3.67	1.27	0.77	1.00

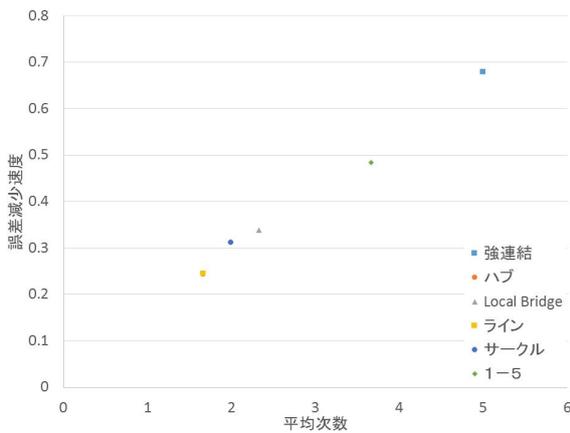


図-7 平均次数と誤差減少速度

前節で挙げた 4 つの SN 形状の特徴量ごとに比較し、それぞれ図 7, 8, 9, 10 のように示した。

これらの図より、一般的に平均次数、平均距離、代数連結度の値が大きい SN 形状の際は誤差減少速度が速く、クラスター係数の値が大きい SN 形状の際は誤差減少速度が遅いということが分かった。これは、ノード間のまとまりがあり、繋がるリンク数の多い強連結の様な SN 形状の場合、正しい情報が入手しやすく、更新されやすいためであると考えられる。

また、代数連結度の比較的に低い形状では、平均次数や平均距離、クラスター係数が同じでも形状によって誤差減少速度が大きすぎてしまっていることが分かる。このことから、代数的連結度は誤差減少速度と SN 形状の関係を分析する上で重要な指標となっていると考えられる。

6. 情報フローの理論解析

前章では道路リンクの主観的所要時間の誤差を数値シミュレーションによって調べることによって、SN 形状と情報フローの関係について実験的に明らかにした。本章では、これらの数値シミュレーションの結果を踏

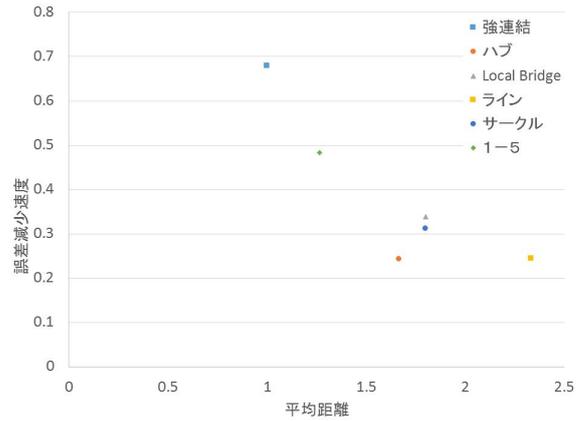


図-8 平均距離と誤差減少速度

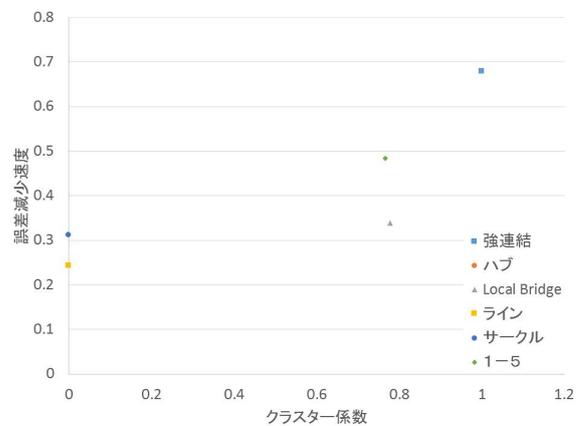


図-9 クラスター係数と誤差減少速度

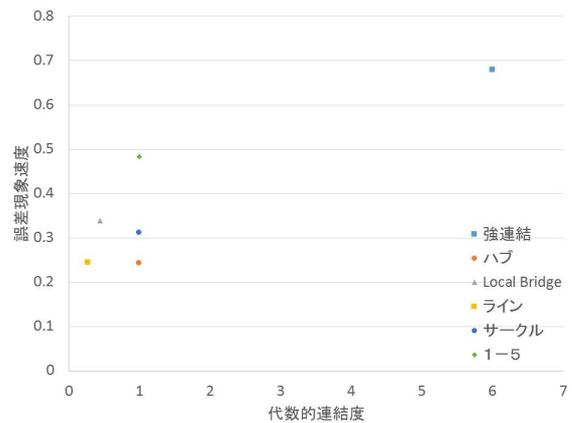


図-10 代数連結度と誤差減少速度

まえて、SN 形状が情報フローに大きな影響を与えていることを理論解析的に示すための定式化を行う。

(1) 理論解析のアイデア

Spielman⁴⁾, Li et al.⁵⁾ によって示されているように、ネットワークにおける情報の拡散は流体熱力学の分野

で一般的に知られている反応拡散方程式のアナロジーとして、ネットワーク上の反応拡散方程式として表現できることが明らかとなっている。

まず、反応拡散方程式を説明する。反応拡散方程式は空間に分布された物質の濃度が時間経過とともに拡散する過程を表す式であり、時刻 t における位置 x でのある量の密度関数を $p(x,t)$ としたとき、式 (8) のように表せる。

$$\frac{\partial}{\partial t} p(x,t) = \kappa \frac{\partial^2}{\partial x^2} p(x,t) \quad (8)$$

このとき、 $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ は濃度の空間的な勾配の変化を濃度の時間変化に変換する役割を担っており、ラプラシアンと呼ばれる。

一方、ネットワークの情報フローについて考えると、 $x_l^i(k) \in [0,1]$ を k ステップにおける道路リンク l に対する SN 上の個人 i の持つ情報量とし、 $x_l^i(k) = 1$ が個人 i が道路リンク l について真値を知っていることを表すとすると、道路リンク l に対する各個人 i の情報量の更新フローは 1 より、以下の式で表せる。このとき、情報の移動の速さはノード間の情報量の差に比例していると仮定する。

$$x_l^i(k+1) = (1 - |f_l| \theta) \cdot x_l^i(k) + \theta \cdot \sum_{j \in N} x_l^j(k) \cdot A_{ji} \quad (9)$$

上記の式を変形して、差分方程式に直すと、

$$\frac{dx(t)}{dt} = x_l^i(k+1) - x_l^i(k) = -\theta \cdot \sum_{j \in f_l} (x_l^i(k) - x_l^j(k)) \quad (10)$$

となる。前章で紹介したラプラシアン行列 \mathbf{L} は、ノードの情報量を表す列ベクトル $\mathbf{x}(t) = (x_0(t), \dots, x_{n-1}(t))^T$ を掛け合わせた $\mathbf{Lx}(t)$ が情報量の重みの変化を表す。よって、ネットワーク上の拡散方程式は比例係数 $\theta > 0$ を用いて以下の式で表せる。

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\theta \mathbf{L} \cdot \mathbf{x}(t) \quad (11)$$

これより、本研究の第 4 章 (1) で提案した情報フローモデルは、ネットワーク上の反応拡散方程式の一種として解釈することができる。これにより、SN の形状が規定するラプラシアン行列 \mathbf{L} を解析することで、情報伝播を解析することが可能となる。

(2) 本研究への拡張

前節のネットワーク上の拡散方程式は定常状態として情報量が一定になることを仮定しているが、本研究は、自分が観測した道路リンクの主観的所要時間は変化しないという設定である。

Olfate-Saber et.al.⁷⁾ は情報拡散式へノード i のバイアス b_i を考慮して、式 (12) のようにバイアス項を追加す

ることによって様々な問題に対応できるように拡張した。

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = -\theta \cdot \left(\sum_{j \in f_i} (x_l^j(k) - x_l^i(k)) + b_i \right) \quad (12)$$

よって本研究においては、式 (11) に、常に観測リンクのみ主観的所要時間を更新しないことを表現する。リンク観測行列 \mathbf{K} を用いて次のような式で表すことが可能である。

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\theta \cdot (\mathbf{L} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{K} \cdot \mathbf{x}_l) \quad (13)$$

同様に、ページランクなどの情報伝播の重みづけはラプラシアン行列の隣接行列を重みづけ隣接行列とすることで考慮可能である。

また、前章までの個人 i の道路リンク l の主観的所要時間 t_l^i と本章の個人 i の道路リンク l に対する情報量 x_l^i の関係は道路リンク l の所要時間の真値を t_l^* としたとき、以下のように表すことで、統一的に理解できる。

$$x_l^i = \exp(-|t_l^* - t_l^i|) \quad (14)$$

以上のように第 5 章での情報伝播シミュレーションは、第 6 章の理論解の枠組みを用いて、更にモデル挙動の理解が可能となると考えられる。

7. おわりに

本研究では、情報の更新方法の違いによる道路ネットワークにおける各道路リンクの主観的所要時間と所要時間の真値との誤差の収束挙動の違いを数値実験により明らかにし、未観測道路リンクの所要時間の初期値や他者の情報の採用度 θ 、SN 形状、情報伝播の重みづけなどの要因が収束速度に大きな影響を与えることが分かった。とくに SN の形状や情報伝播の重みづけを表わす隣接行列が誤差の収束挙動に大きな影響を与えることが判明した。また、情報更新と SN 形状の関係について拡散方程式を用いて解析的に考察する手順を示した。詳細については口頭発表の際に行う。

今後の展望としては、SN に基づいた情報伝播で更新された主観的所要時間によって、道路ネットワーク上の人がどのような経路選択をするのかを考察し、SN に基づいた情報伝播による道路ネットワーク上の交通量配分問題を解析していく。

謝辞： 本研究は本田技研工業株式会社との共同研究「プローブカー軌跡データを用いた渋滞推定手法の精度検証」により得られた成果である。

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) Brin,S. and Page, L.: The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine, Proc. 7th International World Wide Web Conference, pp.107-117, 1998.
- 3) Pujol,J.M., Sanguesa,R., Delgado,J.: Extracting Reputation in Multi Agent Systems by Means of Social Network Topology,AAMAS,2002.
- 4) Spielman,D. : Spectral graph theory, Combinatorial Scientific Computing, Chapman and Hall/CRC, CH.18, pp.495-524, 2012.
- 5) Li,Z., Duan,Z., Chen,G., Huang,L.: Consensus of Multiagent Systems and Synchronization of Complex Networks: A Unified Viewpoint, IEEE, 2010.
- 6) Fiedler,M.: Algebraic connectivity of graphs, Czechoslovak Mathematical Journal, vol.23, no.98, pp.298-305, 1973.
- 7) Olfati-Saber,R., Alex,F.J., Murray,R.M.: Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems, IEEE, Vol.95, No.1, 2007.
- 8) 会田雅樹: 情報ネットワークの分散制御と階層構造, 情報ネットワーク科学シリーズ第3巻, コロナ社, 2015.
- 9) 藤田正樹, 石橋健一, 梶秀樹, 塚越功: マルチエージェント型避難モデルの特性評価, 地域安全学会論文集, No.4, pp.57-63, 2002.
- 10) 山田昌和, 織田澤利守: 災害避難時における群集行動形成メカニズムのモデル化とその構成分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, No.77, 2006.
- 11) 井料隆雅, 辻本晋吾, 天野和信: 避難タイミング決定行動の数理モデルとその検証, 土木学会重点課題シンポジウム, pp.17-20, 2013

(2016. ? ? 受付)

The fluctuation of the subjective traffic state by information propagation based on social network

Anna TAKAYASU, Yusuke HARA, Masao KUWAHARA