

複雑ネットワーク上において重要な点ほど混雑しにくい

田村和広, 守田智

静岡大学 総合科学技術研究科 工学専攻 数理システム工学コース

概要

交通流の渋滞を再現する簡易モデルとして多数のオブジェクトが複雑ネットワーク上をランダムウォークするモデルを構築した。このモデルにおいて重要性の指標としてよく用いられるページランクのような中心性が高い点のほうが混雑しにくい傾向を持つということが示された。また混雑のしやすさはネットワーク上の各ノードの持つ C_{nc+} の値と関係が深いこともわかった。この結果は、膨大なシミュレーションを行わずに混雑が生じやすい場所を見つける手がかりを与える。

Random walkers on complex networks are caught in a traffic jam at less important sites.

Kazuhiro Tamura, Satoru Morita

Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology,
Shizuoka University

Abstract

We constructed a simple traffic flow model that includes a lot of random walkers on complex networks. We showed that the sites whose centrality indices such as Page rank are higher tend to have less traffic jams. In addition, we suggested that the index C_{nc+} has a strong relationship with traffic congestion. These results are useful to find out the traffic jam site without conducting enormous simulations.

1 はじめに

交通流をモデルで再現することは、渋滞や混雑を減少させる対策を立てるために大切である。ただし、ここでは渋滞を道路上で自然発生するものとして考え、混雑は交差点に車が集中することによって発生するものであるとする。これまで交通流を再現するモデルとして様々な種類のものと考えられてきた。[1]-[9] しかし、それらの多くは渋滞や混雑の伝搬の様子を1次元、もしくは2次元平面上で動くオブジェクトや自己駆動粒子を用いて示したものであり、道路交通網の持つ複雑ネットワーク的な特徴と混雑の発生する交差点についての関係について着目したものがほとんど無い。そこで本研究では道路交通網を、交差点をノード、道路をエッジとしたネットワーク

モデルで再現したとき、どのような交差点が混雑しやすいのかについて複雑ネットワークの観点から観察し、混雑の発生しやすい交差点のネットワーク的特徴について調べた。その結果、ネットワークの各ノードの持つ C_{nc+} の値が混雑率と特に関係していることを示す。

2 モデル

本研究において、道路は全て両方向の車線が走行可能なものと仮定し、道路をエッジ、交差点をノードとした無向ネットワークモデルで道路交通網を再現した。また、道路上で自然に発生する渋滞による混雑は交差点での停止時間に比べると無視できるものとし、混雑は交差点でのみ発生するものとした。混

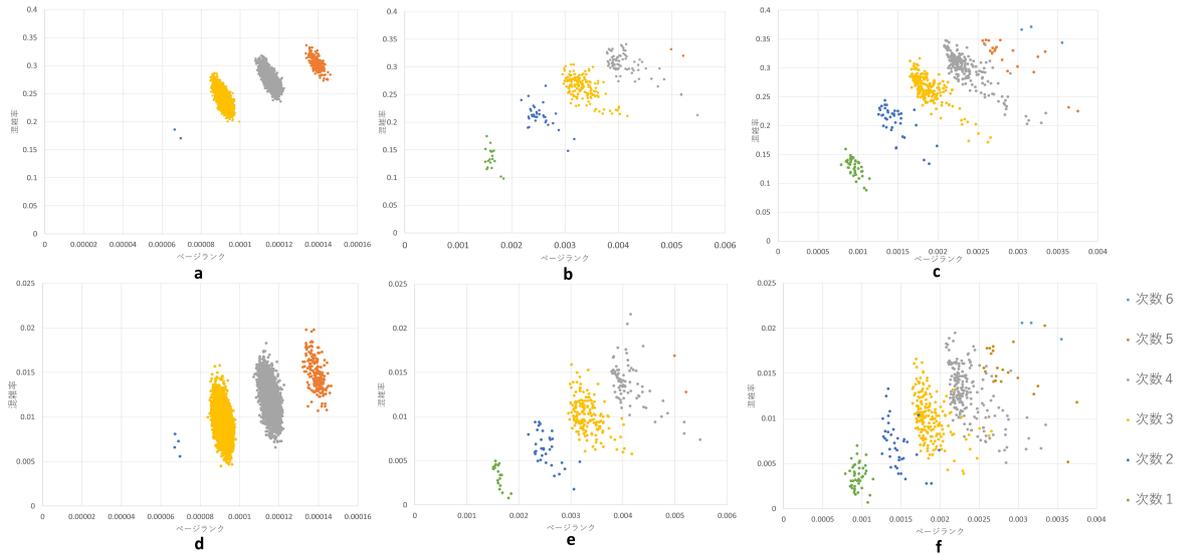


図1: 各道路ネットワーク上のノードの持つページランクの値と混雑率の関係をノードの次数別に色分けしてプロットしたものである。a,d は道路の次数分布を再現したコンフィグレーションモデル、b,e は静岡大学周辺の交差点、c,f は浜松駅周辺の交差点の結果である。a-c はオブジェクト数がノード数の半分、d-f はノード数の1/10である。どの条件でもページランクが大きくなると混雑率も大きくなっている傾向があるが、次数別に見ればページランクが大きくなると混雑率は逆に下がっていることがわかる。

雑のモデルはまず、オブジェクトを車群としてネットワーク上のランダムなノード上に配置し、単位時間毎にエッジでつながっているランダムな隣のノードへ移動させるネットワーク上のランダムウォークを行う。この時、既にオブジェクトが存在するノードが移動先に選択された場合、移動は行わず今いるノードの混雑度を1加算するという処理を行うものとした。そして、本研究ではこの混雑度を総実行時間で割った値を混雑率とし、複雑ネットワークの指標と比較した。シミュレーションのモデルに使用したネットワークのデータは、道路交通網を模した次数分布を持つ人工的なコンフィグレーションネットワークモデルと実際の道路交通網のデータとして静岡大学周辺の300個の交差点のデータ、浜松駅周辺の500個の交差点のデータである。コンフィグレーションモデルで用いる次数分布はStanford Network Analysis Project (SNAP) 上で公開されているアメリカの都市の交差点データを分析したものを使用した。

3 結果と考察

3.1 結果

浜松駅周辺と静岡大学浜松キャンパス周辺の交差点とSNAPで公開されているデータをもとに次数分布を再現した10000点からなるコンフィグレーション

モデルのそれぞれに対し、ページランクと混雑率の関係を次数別にまとめたものが上の図である。図1のa,dがコンフィグレーションモデル、b,eが静岡大学周辺、c,fが浜松駅周辺である。このとき、最初に配置したオブジェクトは図1のa-cではノード数の半分、d-fではノード数の1/10とし、総実行時間は10000とした。まず、ページランクと混雑率に注目するとページランクの大きいノードの方が混雑率も大きいように見える。しかし、図2のように次数別にみるとページランクの大きいノードは先ほどとは逆に混雑率が小さい傾向にあるのがわかる。

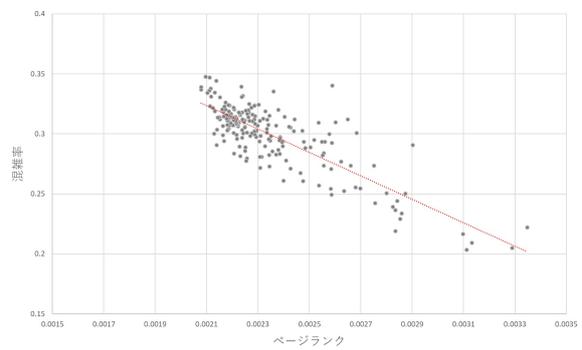


図2: 図1-cの次数4のノードにのみ注目した場合の浜松駅周辺の混雑率とページランクの関係

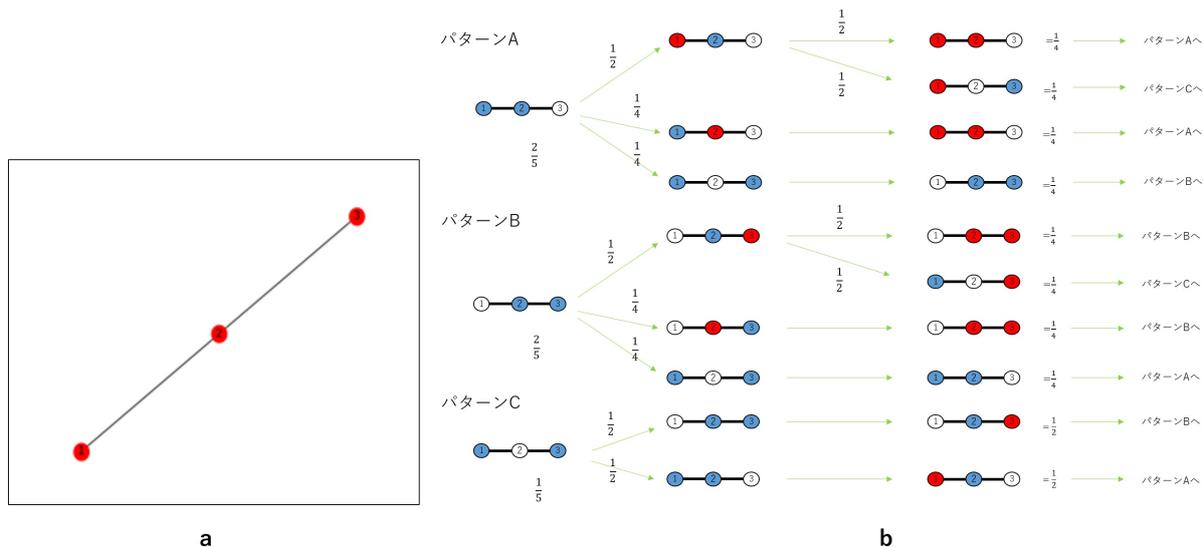


図 3: (a) 3つのノードが2本のリンクで直線状に繋がっているネットワーク。(b) 3つのノード上に2つのオブジェクトをおいた場合を考える。例えばパターン A は1番と2番のノード上にオブジェクトが存在し、3番のノード上にはオブジェクトが存在しない場合を考えている。この時、どちらかのオブジェクトが1/2で選択されて先にランダムウォークを試みる。一番上の場合は先に1番のノードが選択されてランダムウォークを行おうとする。しかし、行き先となる2番のノードにはすでにオブジェクトが存在するために1番のノードは混雑する。従って図ではノードが赤色になっている。その後、2番のノード上のオブジェクトがランダムウォークを試みて、1/2の確率で混雑する。これを繰り返していくと10通りの混雑とオブジェクトの位置の組み合わせが存在し、それらが等確率で存在することがわかる。したがって、10通りの結果の各ノードに注目したとき、それぞれのノードが4つつ混雑しているの、各ノードの混雑率は等しく0.4であることがわかる

また、次数と混雑率の関係はページランクと次数の関係よりも弱く、次数が大きくても混雑率の少ない点も存在する。また、a-cとd-fを比べるとグラフの形はほとんど同じだが、混雑率に対してページランクや次数による影響がより少なくなっていることがわかる。また、混雑率はおよそ1/25になっており(オブジェクト数/ノード数)の2乗に比例していることもわかる。これらの結果から、ページランクが示すネットワーク上におけるノードの重要度とモデルにおける混雑率には、次数毎に分けた場合に負の相関があることがわかる。すなわち、次数の効果を除くと、より辺境な地域ほど混雑しやすいということがわかった。

3.2 考察

ここで、その原因について考察する。図3-aのような3つのノードからなる単純なネットワークを考える。このネットワークにおいて最もページランクの大きなノードは2番であり、ページランクの値は計算上0.5である。また、残りのノードのページラ

nkの値はそれぞれ0.25である。¹

したがって、ページランクの定義より最もオブジェクトが存在する可能性が高いのも2番のノードである。このネットワークに二つのオブジェクトをおいてランダムウォークさせることを考える。図3-bのように最初のオブジェクトの位置は3通りある。ここで混雑が発生したノードを赤色で示す。最終的な混雑とオブジェクトの位置の組み合わせは10通りあり、それぞれが等しい確率で発生するのでノード別に見ると各ノードが4/10で混雑することがわかる。従って最終的な混雑率の値はどの点も等しくなる。実際この条件で10000回試行すると、どの点も等しくおよそ4000回混雑する。このことから、ページランクの高いノードは、オブジェクトが存在する確率は高いが、出口となるエッジが多い分それほど混雑は発生しないということが推測される。まとめると、最終的な混雑率の大きさはネットワークの形

¹ページランクは一個のオブジェクトをネットワーク上でランダムウォークさせた時に、各点にオブジェクトが存在する確率を示す。ここで、ページランクの計算に使用するalphaをgoogleの定義通りalpha=0.85で計算すると0.48程度となり多少異なった結果になるが、ここでは簡単のためalphaを1の極限で計算した[10]

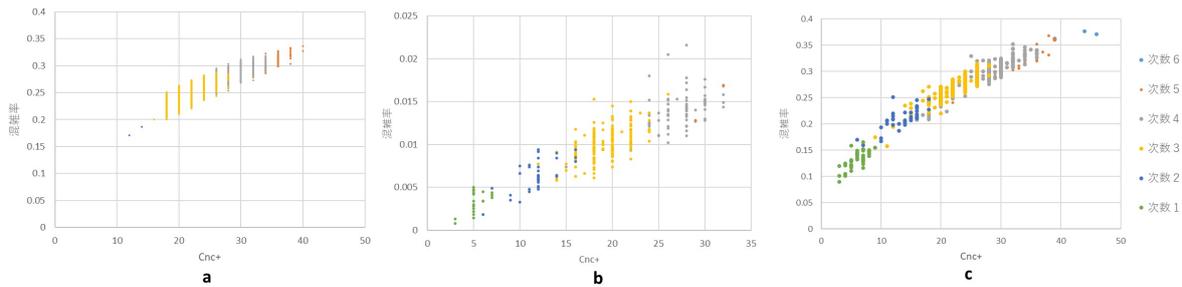


図4: 各道路ネットワークに対する C_{nc+} と混雑率の関係を表した。a) コンフィグレーションモデル b) 静岡
大学周辺 c) 浜松駅周辺 での結果を示している。ページランクに比べ、混雑率との相関があることがわかる。

とオブジェクト数のノード数に対する割合に依存しており、その効果が先ほどの結果を与えていたと考えられる。

ここで隣接しているノードの次数が混雑率に影響を与えている可能性を考慮すると、混雑率の大小はネットワーク上の各ノードの隣接しているノードの次数の総和に影響されていることが推測される。そこで、Bae と Kim の (2014) にて提唱されている C_{nc+} という指標に注目した。²[11]

C_{nc+} は各ノードの属している最大の k-shell の次数の値 k_s を隣人毎に足し合わせた数値を各ノードの C_{nc} とし、さらにその C_{nc} を隣人毎に足し合わせたものを C_{nc+} とする。 C_{nc+} は各ノードの次数と、そのノードの隣人の持つ次数に影響されるため、混雑率の値と関係があると推測される。そして、混雑率と C_{nc+} との関係性を調べたものが図4である。この時のオブジェクトの数はノード数の半分である。図4より、 C_{nc+} の方がページランクと比べると混雑率を正確に予測できていることがわかる。また、 C_{nc+} と混雑率の値の関係性はページランクと比べ、どのネットワークにおいてもおよそ同じようなものになっている。これはページランクよりも C_{nc+} はローカルなネットワークの特徴に強く影響されることが大きいと考えられる。

4 まとめ

本稿では道路交通網のネットワーク上をランダムウォークするオブジェクトを複数用いて道路の混雑を調査した。その結果、次数別にみた場合、ネットワーク上のノードの重要性を示すページランクが高

いノードほど混雑が発生しないことがわかった。つまり、辺境なノードほど混雑が発生しやすいことがわかった。そして、混雑はノードの持つ C_{nc+} の大きさと関係が深いこともわかった。また、自己駆動粒子で各点の行き先のノードをあらかじめ決定し、渋滞を避けるよう行動させた場合では混雑の発生の様子に変化する可能性がある。今後はその違いを観察し、研究を深めていきたい。

参考文献

- [1] 石渡龍輔, 衣川亮太, 杉山雄規, 第二十二回交通流のシミュレーションシンポジウム, 41-44(2016).
- [2] 野田季宏, 日永田泰啓, 只木進一, 第二十二回交通流のシミュレーションシンポジウム, 53-56(2016).
- [3] 室暁生, 西成活裕, 第二十二回交通流のシミュレーションシンポジウム, 57-60(2016).
- [4] 池田光佑, 金鋼, 第二十二回交通流のシミュレーションシンポジウム, 61-64(2016).
- [5] 石橋善弘, 福井稔, 第二十三回交通流のシミュレーションシンポジウム, 5-8(2017).
- [6] 野田季宏, 日永田泰啓, 只木進一, 第二十三回交通流のシミュレーションシンポジウム, 9-12(2017).
- [7] 竹内友紀乃, 大平徹, 第二十三回交通流のシミュレーションシンポジウム, 25-28(2017).
- [8] 岩村泰郎, 谷本潤, 第二十三回交通流のシミュレーションシンポジウム, 67-70(2017).
- [9] 戸田賢, 高松敦子, 第二十三回交通流のシミュレーションシンポジウム, 79-82(2017).
- [10] Page Lawrence, Brin Sergey, Motwani Rajeev and Winograd Terry, The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web(1998).
- [11] Joonhyun Bae, Sangwook Kim, Identifying and ranking influential spreaders in complex networks by neighborhood coreness(2014).

²ネットワーク上において、最低でも k 本のリンクで集合内のノードとつながっている集合を k-shell という。そして、各点の属する最大の k-shell の値を K_s とし、隣接するノードの持つ K_s を足し合わせたものを C_{nc} とする。さらに、隣接するノードの C_{nc} を隣接するノードで足し合わせたものを C_{nc+} とする。