

Web を利用した空間ネットワークの分析

Analysis of the Spatial Network used by Web

篠田 孝祐

Kosuke Shinoda

防衛大学校

National Defense Academy

This paper proposes that it is useful to utilize web service for performing the social simulation and social analysis. Especially, we should coordination with them in order to resolve some problems in real world. In this paper, we try to analyze spatial networks with Web and compare between them. We show that the web service helps our simulation to perform solving realistic problems.

1. はじめに

ネットワーク分析に限らず、現実社会で観測される現象をシミュレーションの対象とする場合、まず、現象を観測し、それを構成する要素を明らかとした上でモデルを構築する。そして、そのモデルに基づいたシミュレータを作成し、シミュレーションの結果と現実の現象で観測される結果との比較を経て、モデルの妥当性などを示す。この手法は、問題を単純化するためにマクロな視点から問題点を明らかにするには適しているが、ミクロな問題に対する現実的な回答を得ることは難しい。その理由は、非常に単純で、シミュレーションの設定やデータを詳細にする必要などがあり、計算量的な面はもちろんのこと、時間的・金銭的な面にある。近年では、このような問題を解決する手段の一つとして、仮想現実や拡張現実を利用した参加型シミュレーションにてモデル化の難しい人間の行動を直接的にシミュレーションに取り込んでいる。本論文では、似たアプローチとして、Web 上のデータをシミュレーションに利用することを試みる。一言にシミュレーションと言っても多種多様であるため、空間上のネットワークの分析をその対象とする。

2. 空間ネットワークの分析

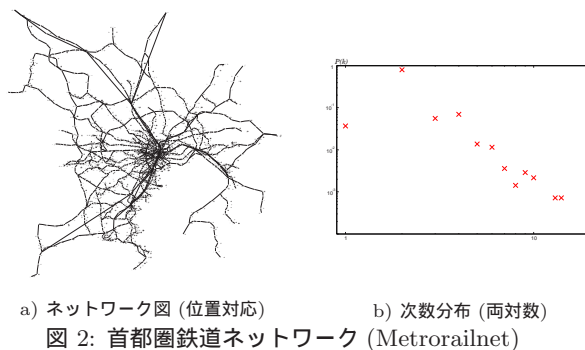
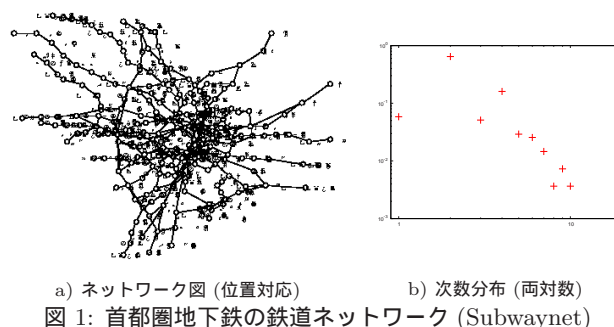
空間に広がるネットワークには、インターネットや電話、電力線、交通・運輸、配送など様々なネットワークが存在し、それらを対象とした研究も多く存在する [Angeloudis 06, Latora 02, Kim 03, Gastner 06]。本論文では、その中でも鉄道網を対象とする。その主な理由とは、ネットワークデータの取得が容易であり、ネットワーク構造が基本的に双方向である、そして、関連する Web サービスが存在することである。本節では、Web 上の情報を利用しない、ネットワークの分析を行なう。

2.1 鉄道ネットワークの構造的特徴

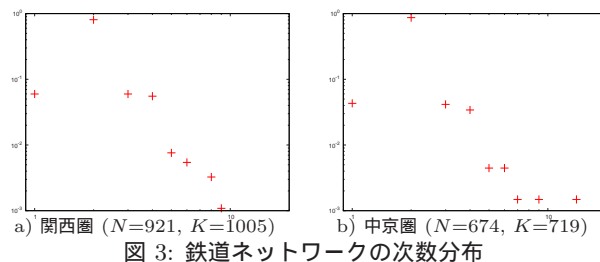
分析の対象に、首都圏の地下鉄ならびに近郊の JR・私鉄を用いる。駅をノード、駅間の接続をリンクとし、線路の異なる快速運転もリンクとした。図 1, 2 は、それぞれ地下鉄の鉄道網 (Subwaynet)・首都圏鉄道網 (Metrorailnet) の a) ネットワーク図ならびに b) 次数分布である。ネットワークに必要な情報は、各鉄道会社の WebSite(2006 年現在) などを利用した。

ネットワークの構造的特徴 [Newman 03] は、Subwaynet が、 $N_S=211, K_S=253, \langle K_S \rangle=2.4, L_S=10.4, C_S=0.019, D_S=32$, Metrorailnet が、 $N_M=1391, K_M=1618, \langle K_M \rangle=2.3$,

連絡先: 篠田孝祐, 防衛大学校, 神奈川県横須賀市走水 1 丁目 10 番 20 号, kshinoda@nda.ac.jp



$L_M=17.9, C_M=0.014, D_M=62$ であり、同規模のランダムネットワークと比較する*1と $L \approx L_{rand}$ かつ $C \gg C_{rand}$ ではないことから、スモールワールド [Watts 98] の性質を持たしていないと思われる。また、図 1 b), 2 b), 3 の次数分布は、次数 1 を除き、ペキ分布に近い分布を示している。ただし、鉄道網は一般的に道路網と同じく正則グラフとされておりとスケールフリー性 [Barabási 99] との関係は明らかではない。



*1 Subwaynet と同規模の正則グラフが $L_{reg}=43.63, C_{reg}=0.285, D_{reg}=88$ ランダムグラフが $L_{rand}=5.90, C_{rand}=0.0077, D_{rand}=13.04$, Metrorailnet の正則グラフが、 $L_{reg}=299.60, C_{reg}=0.231, D_{reg}=600$, ランダムグラフが $L_{rand}=8.97, C_{rand}=0.0012, D_{rand}=19.50$

表 1: 中心性の高い駅上位 10 駅 (首都圏地下鉄)

PageRank C^P	Betweenness C^B	Closeness C^C
大手町	2.710	大手町 0.1542
飯田橋	2.314	飯田橋 0.1532
中野坂上	2.022	九段下 0.1528
青山一丁目	1.929	市ヶ谷 0.1501
永田町	1.872	神保町 0.1476
表参道	1.856	新宿 0.1466
日本橋	1.818	門前仲町 0.1446
銀座	1.771	日本橋 0.1423
上野	1.610	後楽園 0.1417
月島	1.569	春日 0.1410

表 2: 中心性の高い駅上位 15 駅 (首都圏鉄道網)

PageRank C^P	Betweenness C^B	Closeness C^C
横浜	4.40	品川 0.800
新宿	4.15	東京 0.784
大宮	3.48	上野 0.627
池袋	3.00	川崎 0.505
上野	2.97	大宮 0.498
品川	2.88	錦糸町 0.406
千葉	2.76	横浜 0.396
西船橋	2.44	新橋 0.394
大手町	2.43	船橋 0.374
北千住	2.42	新小岩 0.359
新橋	2.41	市川 0.355
新鎌ヶ谷	2.38	津田沼 0.291
拝島	2.37	新日本橋 0.290
東京	2.36	馬喰町 0.289
飯田橋	2.33	戸塚 0.288
		尾久 0.0888
		東京 0.0964
		品川 0.0945
		上野 0.0944
		神田 0.0921
		秋葉原 0.0914
		新橋 0.0911
		新日本橋 0.0900
		浜松町 0.0899
		大宮 0.0899
		御徒町 0.0897
		仲御徒町 0.0897
		大崎 0.0897
		大手町 0.0897
		川崎 0.0890

表 3: 経路検索サービスを用いたときの中心性 (地下鉄)

経由駅 (経路数)	平均移動時間 (分)
飯田橋	4722
新宿	4586
大手町	4064
春日	3429
巣鴨	3382
門前仲町	3353
池袋	3127
日本橋	3119
神保町	3089
市ヶ谷	3064
大手町	16.5
飯田橋	16.8
九段下	17.4
新御茶ノ水	17.5
神保町	17.6
市ヶ谷	17.6
東京	17.7
日比谷	17.9
秋葉原	18.0
御茶ノ水	18.2

を補完するための路線に含まれる駅のリストである。Web から得た情報から C^B と C^C に同様の意味をもつ値として経由駅として含まれる経路数と該当駅から全ての駅への移動にかかる時間の平均を計算した結果は、表 3 となった。結果としては、上位の駅は、ネットワーク構造のみの場合とほとんど変わらないが、池袋駅や東京駅などが上位に上がってきている。

4. 今後の課題とまとめ

以上の結果では、Web 上のデータを利用する有用性を示すにも、ネットワーク構造の計算から得られる結果の妥当性を示すにも不十分であるが、駅のリストや路線に含まれる駅の情報を得るのに必要な時間は、正しいネットワークのデータを生成するのに比べて、経験的ではあるがかなり短い時間で可能であった。現在利用している経路情報などは専用のサービスとして設計されていないこともあり、データの切り出し、駅名の重複、徒歩移動の扱いなどの問題もある。しかしながら、同様のモジュールの設計・実装に必要な時間的・金銭的コストの削減は非常に魅力的であるので積極的に利用していきたい。また、Web サービスを単に利用するだけでなく、マッシュアップなどに利用できるサービスモジュールの一つとしてシミュレーションが提供されることが、互恵的な視点からも必要であると考える。

参考文献

[Angeloudis 06] Angeloudis, P. and Fisk, D.: Large subway systems as complex networks, *Physica A*, Vol. 367, pp. 553–558 (2006).

[Barabási 99] Barabási, A.-L. and Albert, R.: Emergence of scaling in random networks, *Science*, No. 286, pp. 509–512 (1999).

[Borgatti 05] Borgatti, S. P.: Centrality and network flow, *Social Networks*, Vol. 27, pp. 55–71 (2005).

[Brin 98] Brin, S. and Page, L.: The Anatomy of a Large-scale Hypertextual Web Search Engine, *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 30, No. 1–7, pp. 107–117 (1998).

[Freeman 79] Freeman, L. C.: Centrality in social networks: Conceptual clarification, *Social Networks*, Vol. 1, pp. 215–239 (1979).

[Gastner 06] Gastner, M. T. and Newman, M. E. J.: The spatial structure of networks, *The European Physical Journal B*, Vol. 49, p. 247 (2006).

[Kim 03] Kim, K. S., Benguigui, L., and Marinov, M.: The fractal structure of Seoul’s public transportation system, *Cities*, Vol. 20, No. 1, pp. 31–39 (2003).

[Latora 02] Latora, V. and Marchiori, M.: Is the Boston subway a small-world network?, *Physica A*, Vol. 314, pp. 109–113 (2002).

[Newman 03] Newman, M. E. J.: The structure and function of complex networks, *SIAM Review*, Vol. 45, pp. 167–256 (2003).

[Watts 98] Watts, D. J. and Strogatz, S. H.: Collective dynamic of small-world networks, *Nature*, Vol. 393, pp. 440–442 (1998).

2.2 鉄道ネットワークの静的な分析

続いて、対象のネットワークに含まれる駅の中心性を調べる。中心性とは、ノードやエッジがネットワーク内でどの程度“中心”であるのかを測る指標であり、何をもって中心であるかによって定義がことなるため、多数提案されている [Freeman 79, Brin 98, Borgatti 05]。表 1, 2 では、PageRank(C^P)、Betweenness(C^B)、Closeness(C^C)の各中心性の高い駅順に並べた。各中心性は、 C^P がその駅を利用する可能性の高さ、 C^B が乗り換えもしくは通過客の多さ、 C^C は移動必要時間の短さを意味する。Subwaynet に関しては、大手町、飯田橋、日本橋が、Metrorailnet では、品川、上野、大宮が上位にランクされている。いずれの駅も、乗入路線が多く、次数が高いノードである。さらに、Metrorailnet では C^B , C^C の上位にある駅はいずれも新幹線の駅となっているが、PageRank は横浜・新宿・池袋などが占めており、この順序は、駅利用客の推定数の順序と比較的相関がある。また、川崎のように C^B のみが高い駅は、通過している利用客が多く、潜在的な乗降客が多いことを含意していると考えられる。

3. Web にあるデータの活用

前節では、ネットワークデータから中心性の計算を行なった。しかしながら、この計算は、単純にネットワークの構造から計算したものであり、路線の乗り換えや電車の運行状況、駅の位置関係 (徒歩での移動など) は考慮されていない。これらを大まかにでも考慮するには、電車の時刻表や、移動経路など雑多な情報を導入する必要がある。このような問題を、Web 上にあるサービスを利用することで省略する。

本論文では、経路探索サービス*2から得られる経路情報を、前節で行なったネットワーク分析に加える。鉄道ネットワークの分析をおこなう際に望まれる情報としては、各駅の乗降客数、駅利用者の目的地分布、利用者の時間後との分布なども考えられるが、鉄道の一利用者が Web から得て利用する情報ではないため、今回は考慮しない。

経路探索サービスから得たデータを加工するにあたり、準備した情報は、駅のリスト、ならびに、乗り換え駅以外の通過駅

*2 駅前探険倶楽部 (<http://ekitan.com/>), Google Transit (<http://www.google.co.jp/transit>) など