

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750126

研究課題名(和文)交通ネットワーク分割手法の改良を通じた、MFD交通制御の向上

研究課題名(英文)Improvement of traffic control with MFD through refinement of partitioning traffic networks

研究代表者

西 遼佑 (NISHI, Ryosuke)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10727093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)の基礎的性質として、MFDの道路ネットワーク構造依存性を数値シミュレーションによって調べた。粗密のある道路ネットワークのほうが、粗密のない道路ネットワークよりも流量が低下することを見出した。また、密度に依存してノードを開閉するネットワーク交通の制御方法について研究した。この密度依存型のノード開閉ルールによって、ネットワーク全体の流れの振る舞いの相として、free flow phase、dead lock phase、controlled phaseの3つの相が出現することを見出した。

研究成果の概要(英文)：We investigated the influence of structures of road networks on the macroscopic fundamental diagram (MFD) as a fundamental property of MFD by numerical simulations. It is found that flow on networks with coarseness and fineness is lower than the flow on networks without coarseness and fineness.

We investigated the rules closing and opening nodes based on the density of them for controlling traffic flows on networks. It is found that free flow phase, dead lock phase, and controlled phase emerge by this rule.

研究分野：交通渋滞

キーワード：MFD

1. 研究開始当初の背景

近年、都市交通網における交通指標の一つとして、道路リンクを1本ずつ扱うのではなく、交通網の全流量[通過台数/時間]を交通網内の車の台数(あるいは密度)の一価関数で近似する Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)が活発に研究されている(図1)[1, 2]。MFDの研究例としては、日常的な交通だけでなく、非常時における避難・誘導[3]も研究されている。

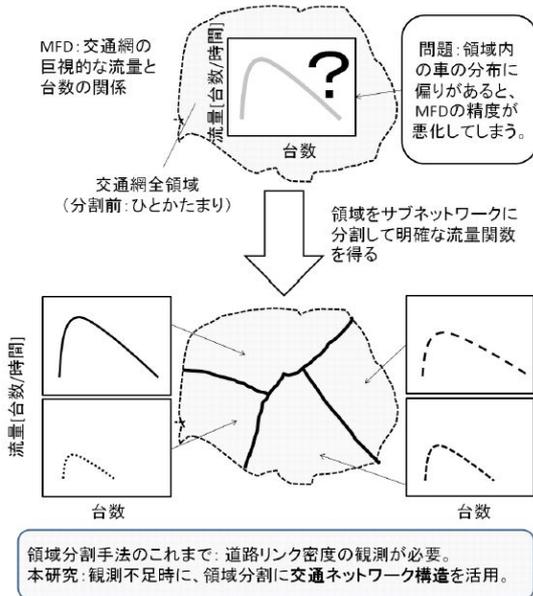


図1: MFD用交通ネットワーク分割の必要性と、本研究の狙い。

領域内の車の分布が一様ではない場合には、MFDの精度が落ちてしまうため、MFD用に道路網全体を複数のサブネットワークに分割する方法が提案され始めている[4-7]。しかしながら、現状のMFD分割手法は、交通状態の入力量が不足した場合の対処を弱点に抱えている。現状の先行研究は、道路網全体中20%の道路リンクの交通密度[台数/km]が取得できれば分割に成功すると主張している[4]。もし20%よりも大幅に不足する場合は、成功する保証はない。交通状態の入力量が不足する場合としては、道路備え付けの交通状態計測装置や、GPS受信機搭載のデータ提供車が日常的に不足している場合があげられる。さらには、非常時にGPSデータをやり取りする通信基地局が停止する場合などが考えられる。特に、非常時に避難・誘導にMFD交通制御を用いる際は、データ入力量に障害が発生する可能性がある。

上記の場合に備えて、MFD用ネットワーク分割において、交通状態の入力量だけでなく、道路網の構造を入力として積極的に活用することが望まれる。その際、既存の地図空間ネットワークの知見[8]や、ネットワークのコミュニティ分割手法の知見[9]が活用できると期待される。なお、コミュニティ分割の知見をMFDネットワーク分割に適用した先行

研究として、Zhouらの研究[5]がある。しかしながら、彼らは道路網の全リンク密度が完全に既知の状況のみ想定している。また、彼らの用いた道路網は、リンク数が100未満の小規模な格子モデルである。ゆえに、密度情報が不足する状況、かつ、より複雑な道路網でのネットワーク分割は、コミュニティ分割手法[9]を使うとしても、挑戦すべき課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は「交通ネットワーク分割手法の改良を通じた、MFD交通制御の向上」であり、下記の2つに分けられる。

目的(1): ネットワーク構造を入力量として、交通状態の情報不足に対して頑健性を高めたMFD用交通ネットワーク分割手法を開発する。分割手法としては、コミュニティ分割の知見[9]を活用する。道路ネットワークは、地図空間ネットワーク分野の知見[8]を活かした数理モデルと実道路網を用いる。また、静的な分割だけでなく動的な分割にもネットワーク構造を活用する。交通流シミュレーションを通して、分割手法の妥当性や計算量を定量的に評価する。

目的(2): 目的(1)で得られたMFD用ネットワーク分割手法を用いて、交通状態の情報不足に対して頑健な避難・誘導の交通制御手法を構築する。交通流シミュレーションによって、分割手法の効果について定量的に評価する。

3. 研究の方法

表1: 研究目的(1)のための、MFD用交通ネットワーク分割手法の開発と評価

MFD用ネットワーク分割手法	
方法論	コミュニティ分割の応用[9]
パラメータ	道路リンク密度の観測割合、道路網構造
評価方法	分割妥当性や計算量の評価[4]
交通シミュレーションを通じた評価	
分割の時間軸	静的、動的
交通状況	都市圏での日常の自動車出勤・帰宅ラッシュ
交通ネットワーク	単層および多層の、平面グラフモデル[8]と実道路網
交通ダイナミクス	市街路用モデル[10]、高速道路用モデル[11]
出発・到着地点	人口分布に基づく数理モデル[12]

研究目的(1)を達成するために、表1のようなMFD用ネットワーク分割手法を開発し、交通シミュレーションを通して評価する。特記事項は下記のとおりである。観測リンク割合が少ない状況を想定し、社会ネットワーク分野のコミュニティ分割手法[9]を援用する。交通ネットワークとしては、一般的な分析結果を得るために地図空間ネットワーク分野

の平面グラフ数理モデル（市街路など）[8]を用いる。また、できるだけ実交通に近い定量的分析のために実交通ネットワークも用いる。時間軸としては、まずは単純な静的な場合に取り組み、次に、渋滞の成長・減衰を伴う動的な場合を扱う。

表2：研究目的（2）のための、避難シミュレーション項目

交通状況	非常事態における都市圏からの避難・脱出
交通ネットワーク	表1に加えて、確率的なリンク崩壊[13]
交通ダイナミクス	表1に加えて、パニックなどの判断力低下[14]
パラメータ	表1に加えて、避難方向の割り当て[14]
分割手法	社会ネットワークのコミュニティ分割の応用[9]
分割の定量的評価	脱出時間、生存者の割合
分割の時間軸	動的

研究目的（2）を達成するために、表2のシミュレーションを構築して遂行する。目的（1）で開発した動的なネットワーク分割を用いる。特記事項としては、道路リンクの確率的な崩壊[13]、および、避難特有のパニック[14]を考慮する。

4. 研究成果

MFD用の道路ネットワーク分割手法を開発するにあたり、まずはMFDの基礎的な性質を把握する必要がある。特に、様々な道路ネットワーク構造におけるMFDの性質を把握する必要があると考えられる。しかしながら、MFDの道路ネットワーク構造依存性についてのこれまでの知見は、非常に限定的であった。そこで、当初の研究計画を変更し、MFDの道路ネットワーク構造依存性についてまずは明らかにすることを目指し、下記の通りに研究を進めた。

研究手法としては、数値シミュレーションを用いた。具体的には、道路ネットワークを生成する数理モデルを用いて、粗密のない様な道路ネットワークと、粗密のある道路ネットワークを生成した。なお、粗密をもたらす道路ネットワーク生成ルールとしては、BarthélemyとFlamminiの生成ルール[15]を用いた。それらの生成した道路ネットワークにおいて、自動車交通のエージェントベース・シミュレーションを実行し、MFDを取得した。エージェントベース・シミュレーションのソフトウェアとしては、MATSim[16]を用いた。

数値シミュレーションの結果、図2に示す通り、粗密のある道路ネットワークのほうが、一様な道路ネットワークよりも、MFDの流量が下がる傾向にあることが見出された。なお、

図2の λ は粗密のパラメータ[15]であり、 $\lambda=0$ では粗密がない道路ネットワークが、 $\lambda=100$ では粗密のある道路ネットワークが生成される。また、図3に示すように、各車線リンクを通過する台数の順位分布を道路ネットワークごとに作成して比較した。なお、図3の横軸は、道路ネットワークの各車線の流出台数 N_{out} を降順に加算し、全車線長で正規化した累積道路長である。縦軸は、全台数 N_{car} で規格化した N_{out} を100個の道路ネットワークについてアンサンブル平均したものである。結果、粗密のある道路ネットワークのほうが、一様な道路ネットワークよりも、使用されない無駄な車線リンクの割合が高いことが分かった[学会発表]。これらの知見は、MFDの基礎的な性質の解明に寄与する。および、これらの知見は、様々な道路ネットワーク構造が接合した都市道路ネットワークを、MFD交通制御用に適切に分割する上で寄与すると期待される。

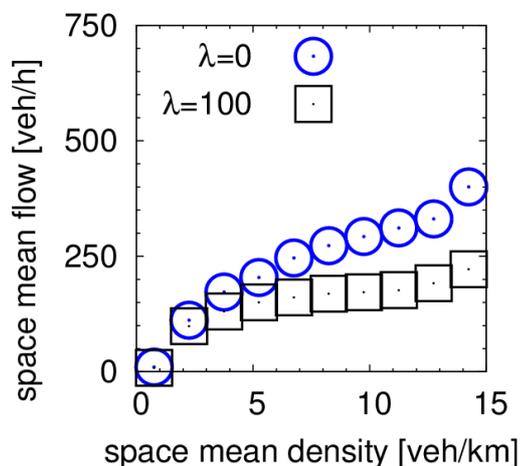


図2：MFDの道路ネットワーク構造依存性。

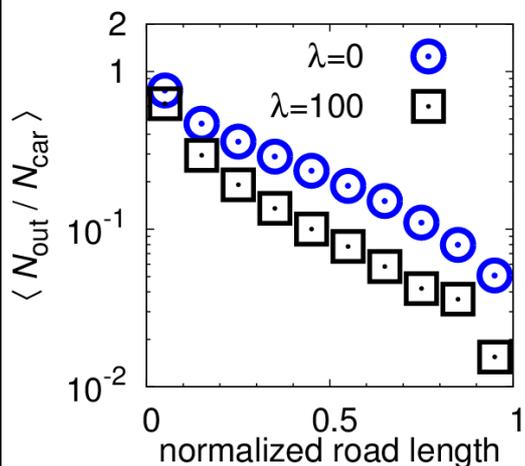


図3：リンク通過台数順位分布。

また、MFDに関連する研究として、輸送ネットワークの制御方法に関する研究を実施し

た。この研究は、東京大学 江崎貴裕氏、東京大学 西成活裕教授との共同研究である。輸送ネットワーク上の流れは、移動体の密度に依存したダイナミクスに支配される。従って、輸送ネットワークの制御では、移動体の密度を基準とした流れの制御方法が求められる。そこで、輸送ネットワークの制御方法として、密度に依存してノードを開閉するという制御方法について研究を進めた。ネットワークとしては、入次数と出次数がともに等しいレギュラグラフを用いた。ノード開閉を適用する前のネットワーク上の流れのダイナミクスとしては、先行研究[17]に準拠した。密度依存型のノード開閉ルールとしては、ノード上の密度が閾値 c_i に達したら、そのノードへの流入を閉鎖し、閉鎖されたノードの密度が別の閾値 c_{op} にまで減少したら、そのノードを開放すると設定した。また、あるノード i から別のノード j へのリンクが存在する場合に、ノード j を閉鎖すると、ノード i からの流出が変更される。その変更ルールとしては、ノード i からノード j への流れが停止する Queueing rule と、ノード i からノード j 以外の他のノードへの迂回の流れが発生する Detouring rule の2種類を用意した。この密度依存型のノード開閉によって、ネットワーク全体の流れの振る舞いの相として、free flow phase、deadlock phase、controlled phase の3つの相が出現することを見出した。さらに、controlled phase において、流量が大幅に改善されうることを見出した。また、Queueing rule と Detouring rule 間の流量の関係を整理した。ならびに、開放密度 c_{op} および次数が及ぼす影響についても調べた。これらの研究成果は、英語論文誌[雑誌論文]に出版された。これらの得られた知見は、ネットワーク交通制御の向上に寄与すると期待される。

<引用文献>

- [1] J. Godfrey, Traffic Eng. Control, Vol.11, pp.323-327 (1969).
 [2] N. Geroliminis, C. F. Daganzo, Transport. Res. B, Vol.42, pp.759-770 (2008).
 [3] G. Tamminga et al., Transport. Res. Rec., Vol.2234, pp.89-96 (2011).
 [4] Y. Ji, N. Geroliminis, Transport. Res. B, Vol.46, pp.1639-1656 (2012).
 [5] Z. Zhou et al., in Proc. 15th ITSC, IEEE, pp.820-825 (2012).
 [6] Y. Ji, N. Geroliminis, "Dynamic Partitioning of Urban Transportation Networks", in Proc. STRC2013.
 [7] H. Etemadnia et al., Transportmetrica A, Vol.10, pp.518-532 (2014).
 [8] M. Barthélemy, Phys. Rep., Vol.499, pp.1-101 (2011).
 [9] S. Fortunato, Phys. Rep., Vol.486,

pp.75-174 (2010).

- [10] Bureau of Public Roads, "Traffic assignment manual", U.S. Department of Commerce, Urban Planning Division, Washington, DC (1964).
 [11] C. F. Daganzo, Transport. Res. B, Vol.28, pp.269-287 (1994).
 [12] F. Simini et al., Nature, Vol.484, pp.96-100 (2012).
 [13] M. A. Yazici, K. Ozbay, Transport. Res. Rec., Vol.2022, pp.55-62 (2007).
 [14] A. J. Pel et al., Transportation, Vol.39, pp.97-123 (2012).
 [15] M. Barthélemy, A. Flammini, Netw. Spat. Econ., Vol.9, pp.401-425 (2009).
 [16] "MATSim" <<http://www.matsim.org/>> (Accessed, 2016.6.9).
 [17] T. Ezaki, K. Nishinari, Phys. Rev. E, Vol.90, 022807 (2014).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Takahiro Ezaki, Ryosuke Nishi, Katsuhiko Nishinari, "Taming Macroscopic Jamming in Transportation Networks", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment (2015) P06013. (査読有). DOI: 10.1088/1742-5468/2015/06/P06013

[学会発表](計1件)

岡 祐樹、江崎 貴裕、西 遼佑, "道路網構造と自動車交通の関係について"、日本機械学会 中国四国学生会 第46回学生員卒業研究発表講演会、2016年3月8日、愛媛大学(愛媛県・松山市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

西 遼佑 (NISHI, Ryosuke)
 鳥取大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：10727093