

# Macroscopic Fundamental Diagram における渋滞領域発生メカニズム に関する実証研究

王鵬飛<sup>1</sup>・赤松隆<sup>2</sup>・和田健太郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 東北大学大学院 情報科学研究科 博士後期課程 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-3-09)  
E-mail: wpf@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学大学院 情報科学研究科 教授 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-3-09)  
E-mail: akamatsu@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京大学 生産技術研究所 助教 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)  
E-mail: wadaken@iis.u-tokyo.ac.jp

本研究は、那覇市 CBD の一般道路ネットワークを対象として、Macroscopic Fundamental Diagram (MFD) の渋滞領域発生メカニズムを実証的に分析する。具体的には、まず、5 分刻みの観測データから描かれた毎日の MFD を 1 年間 (2012 年 5 月 1 日 ~ 2013 年 4 月 30 日) を用いて、どの程度の頻度で渋滞領域が発生するかを調べた。その結果、平日の約 20.3% の日で MFD の渋滞領域が発生することがわかった。続いて、渋滞領域発生メカニズムを考察するために、MFD の渋滞領域が現れる日と現れない日の渋滞パターン (リンク密度の空間的分布) の比較を行った。そして、渋滞領域が現れる日の渋滞パターンは以下の特徴を持つことを示した: (1) 時間的な渋滞パターンの進展の類似度が高い; (2) ピーク時間帯の渋滞リンク数が多いだけでなく、待ち行列の延伸が発生している箇所も多い。

**Key Words** : *macroscopic fundamental diagram, traffic congestion, congested regime, detector, queue spillover*

## 1. はじめに

交通渋滞は、いまなお、世界中の都市が解決すべき問題である。現在、交通渋滞の観測やモニタリングは、様々なセンサー (e.g., 感知器, プローブ車両) によって、個別リンク或いは道路区間毎に行われている。しかしながら、これらの個別の情報から、道路ネットワークの面的な交通状態や交通性能を直接把握・評価することは必ずしも容易ではない。これは、混雑した道路ネットワークの (非集計) 交通流ダイナミクスが、非線形な交通流現象と利用者の経路選択との相互作用により複雑かつカオス的な挙動をするためである。

このような非集計アプローチに代わる方法として、Daganzo<sup>2)</sup> は、集計的なレベルでネットワークの交通状態を捉える巨視的な混雑指標 *Macroscopic Fundamental Diagram* (MFD) を提案している。MFD は、混雑が一様に分布している、かつ、需要が徐々に変化するエリアに対して、車両存在台数 (平均交通密度) とトリップ完了率 (平均交通量) の関係を表すものである。Geroliminis and Daganzo<sup>4)</sup> は、横浜エリアの道路ネットワークに対して、需要パターンが within-day が day-to-day で変化しても不変かつ再現される well-defined MFD が存在

することを実証的に示した。

このような well-defined MFD は、平均交通密度のみを用いてエリアの交通状態を簡便に把握することができるため、リアルタイム交通制御に繋がる有効な指標となりうる。例えば、MFD の臨界密度以下に平均密度を保つように流入制御を行うことにより、エリア内部が (MFD の意味で) 渋滞状態に陥ることを回避することができる<sup>2),3),4)</sup>。

このような MFD の特性に関して、Geroliminis and Sun<sup>5)</sup> は、well-defined MFD が存在するとき、同一平均密度下でのリンク密度のレベル別の頻度分布が同一であることを示した。この分析では、必ずしも空間的なネットワーク構造を考慮したリンク密度分布 (以下、渋滞パターンと呼ぶ) を扱っていないが、以上の事実は渋滞パターンから MFD の形状、特に渋滞領域の形状/発現メカニズムを説明できることを示唆している。なお、MFD に関する実証研究<sup>1),6),8),9),10),12),13),14),15),17),18)</sup> は近年増加傾向にあるが、渋滞パターンとの関係性を分析したものはない。さらに、上記のいずれの研究も数日間のデータ<sup>1)</sup> を用いて MFD を解析したのみである。

<sup>1</sup> Wang et al<sup>15)</sup> は仙台市の 1 年間の観測データを用いて、MFD の形状や需要・供給条件に応じた特性を明らかにしている。

本研究では、那覇市 CBD の一般道路ネットワークを対象として、1年間（2012年5月1日～2013年4月30日）の5分刻みの観測データを用いて、MFDの渋滞領域が現れるメカニズムを分析する。具体的には、まず、渋滞領域が現れる MFD に関する基本的な集計分析（e.g., MFD の渋滞領域の発生頻度、発生日の分類、発生時間帯）を行う。続いて、走行台キロ・車両存在台数の時間的推移を用いて、MFD の渋滞領域が現れるマクロなメカニズムを説明する。最後に、MFD 形状と時間帯別渋滞パターンとの関係を分析した上で、渋滞領域が現れる日の時間帯別渋滞パターンの特性を明らかにする。

本論文の構成は以下のとおりである。第2章では、那覇市 CBD における一般道路のネットワーク構造、感知器データの基本情報と MFD の描画方法を説明する。第3章では、MFD 形状の需要・供給条件に応じた特性を明らかにする。そして、MFD の渋滞領域が現れるマクロなメカニズムを走行台キロ・車両存在台数の時間的推移から説明する。第4章では、時間帯別の渋滞パターンの特性把握した上で、MFD の渋滞領域発生メカニズムについて考察する。第5章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. データと処理方法

### (1) 観測データ

本研究では、那覇市 CBD の一般道路ネットワークを分析対象とする。那覇市の人口は約 82 万人である。対象ネットワークのリンクは、片側 1～3 車線、制限速度は約 50[km/h] である。交差点間の距離は 100～300[m] であるケースが多く、大部分の交差点は複数現示の交通信号で制御されている（信号サイクル長は 1 日の時間帯によって変化し、一般的に、昼は 90[s]、夜は 120[s] である）。

分析に用いるデータ・セットは、図-1 に示す 133 地点の感知器で計測された交通量と交通密度である。対象期間は、2012年5月1日～2013年4月30日の1年間（365日）であり<sup>2</sup>、毎日、24時間を5分刻みで分割した時間帯別（総時間帯  $T = 288$ ）の観測値が得られている。感知器による観測項目は、各時間帯  $t$  における感知器  $i$  で観測されたリンク断面交通量  $q_t^i$ （複数車線の場合、その合計値）と車両速度  $v_t^i$  である。交通密度  $k_t^i$  は、 $k_t^i = q_t^i / v_t^i$  によって計算される。

<sup>2</sup> ただし、分析期間 365 日のうち 12 日（約 3.3%）のデータでは、一部の観測レコードが、感知器の故障により、欠損していた。そのようなデータがある日は、分析対象から除外した。

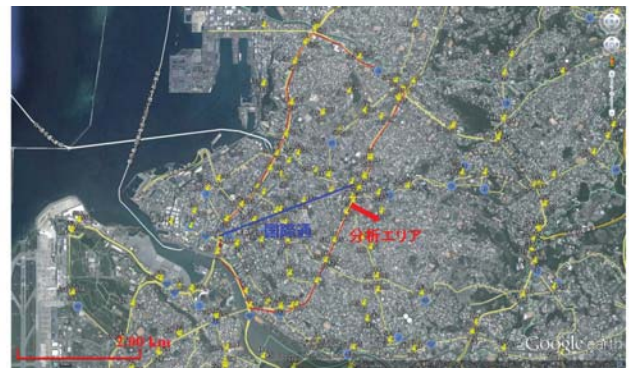


図-1 那覇市 CBD における感知地点の分布

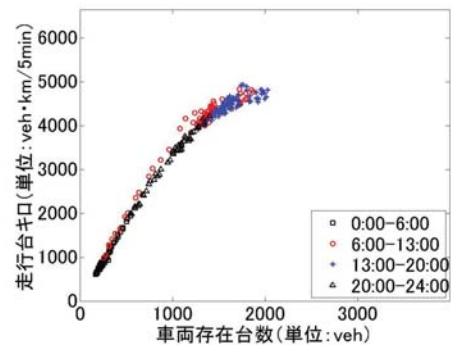


図-2 MFD 描画の例

### (2) MFD の描画方法

以降の分析で用いる MFD の定義および描画方法を、図-2 を例として説明する。この図の横軸は（感知器が設置されている全ての道路の）車両存在台数、縦軸は走行台キロを表す。また、この図にプロットされた各点は、一日の各時間帯  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) で観測された（車両存在台数  $N_t$ , 走行台キロ  $P_t$ ）ペアである。ここで、時間帯  $t$  に対応する車両存在台数  $N_t$  は、以下のように表される：

$$N_t = \sum_{i=1}^{|I|} k_t^i l^i = \sum_{i=1}^{|I|} (q_t^i / v_t^i) l^i \quad (1)$$

ここで、 $l^i$  はリンク  $i$  の長さである。一方、走行台キロ  $P_t$  は、以下で与えられる：

$$P_t = \sum_{i=1}^{|I|} q_t^i l^i \quad (2)$$

ここで、 $I$  は図-1 で示した感知器が設置されているリンクの集合である。

なお、図-2 では、1日 24時間を4つの時間帯：0:00-6:00、6:00-13:00、13:00-20:00 と 20:00-24:00、に分割し、各プロットが属する時間帯を異なる色・印の組合せで示している（例えば、6:00-13:00 のデータは「赤色の○」、13:00-20:00 のデータは「青色の+」でプロットされている）。

### 3. 那覇 CBD における MFD の特徴

本節では、1年間の感知器データを用いて毎日のMFDを描画し、その定性的な特性を明らかにする。まず、3(1)節では、晴の平日（標準的な条件）、晴の休日と悪天候日のMFDの特徴をつける。続く3(2)節では、渋滞領域が現れるMFDに関する1年間の集計結果をまとめるとともに、車両存在台数、走行台キロの時間的推移により、MFDの渋滞領域が現れるマクロなメカニズムを説明する。

#### (1) MFD の特徴と分類

本研究では、図-1に示す感知器集合Iをベンチマーク・ケースとして、1年間の毎日のMFDを描画した。その多数のMFDの観察から、1年間を通じた毎日のMFDは、その形状に応じて、幾つかのタイプに分類できることがわかった。なかでも、悪天候でない平日という（1年間で最も多い）標準的な条件下で現れる「典型的なMFD」（図-3）は<sup>3</sup>、

- MFDの渋滞領域が現れる場合（12.0%、図-3(a)）と現れない場合（88.0%、図-3(b)）がある、
- 上記の2つグループ内の形状の変化は、1年を通じて、ごく僅かである、

という共通の特徴を持つ。

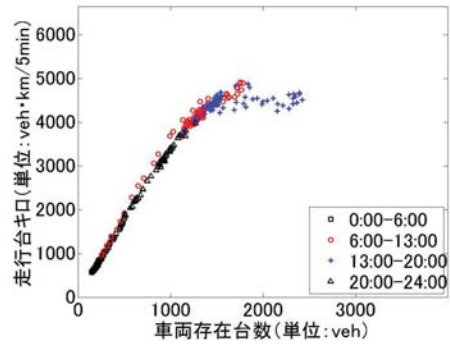
ただし、様々な条件下でのMFDをより詳しく観察すると、道路ネットワーク・サービスのa) 需要条件、b) 供給条件、によって、MFDの形状は変化することがわかった。より具体的には、a)については、交通需要の推移パターンが平日と大きく異なる休日のMFDでは、MFDの渋滞領域が発生しない。b)については、車両走行環境が平常時と大きく異なる悪天候日（e.g., 雨）のMFDでは、典型的なものよりMFDのバラツキが大きくなり、渋滞領域が現れるケースも多くなる。以下では、上記のMFDの特性をそれぞれ詳しく見ていく。

#### a) 晴の休日

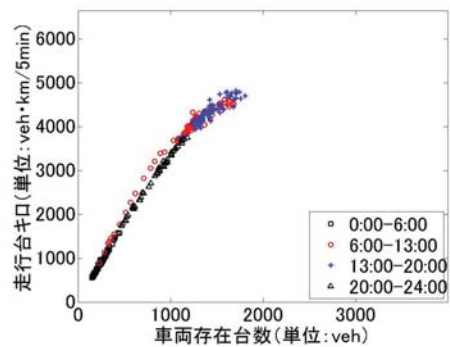
MFDの形状・特性は、交通需要のレベル及び推移パターンに応じて変化する可能性がある。そこで、標準的条件と交通需要パターンが大きく異なる土曜・休日のMFDを1年を通じて観察した結果（図-4を参照）、MFDの渋滞領域が発生しないという共通特性が見出された。

以上では、需要条件が大きく異なる平日と土曜・休日のMFDを2つの直感的なグループに（ヒューリスティックな方法で）分類したが、この妥当性はMFD形状をより客観的な統計的手法で分類することによっても確かめることができる。図-5は、2012年5月の全てのMFDを階層的クラスタリング法で分類した結果

<sup>3</sup> 紙面の制約より、ここでは典型的な例のみを記載している。



(a) 2012年11月6日(火曜日, 晴)



(b) 2012年5月8日(火曜日, 晴)

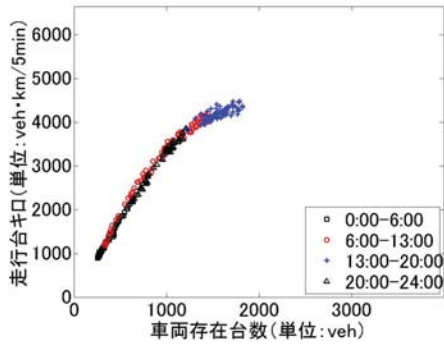
図-3 晴の平日のMFD

である（詳細な計算手法はWang et al<sup>15)</sup>に参照）。この図より、平日と休日に分かれるだけでなく、休日明け（e.g., 月曜日）、休日前日（e.g., 金曜日）と通常平日（火曜日、水曜日、木曜日）も綺麗に分類され、さらに、渋滞領域が現れるMFDは同一のクラスター（ここで、渋滞領域発生時間帯について、15日・16日は、夕ピーク時間帯であり、17日は（雨の影響により）朝ピーク時間帯である）に属することがわかる。これは曜日に応じた利用者の行動特性の結果を反映していると考えられる。

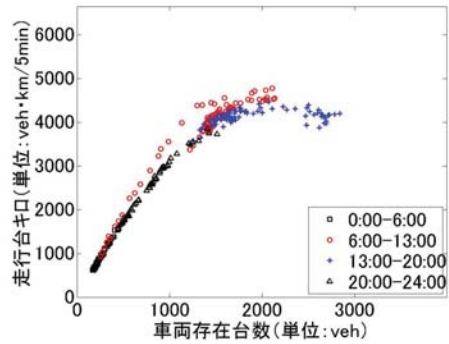
#### b) 悪天候日

前節で述べた需要条件に加え、道路ネットワーク・サービスの供給条件の変化（e.g., 雨による車両走行環境の変化）も、MFDの形状・特性に影響を与える可能性がある。そこで、標準的な条件と車両走行環境が大きく異なる悪天候日のMFDを1年を通じて観察した結果（図-6(a)、図-7(a)を参照）、以下の特徴を持つことがわかった：

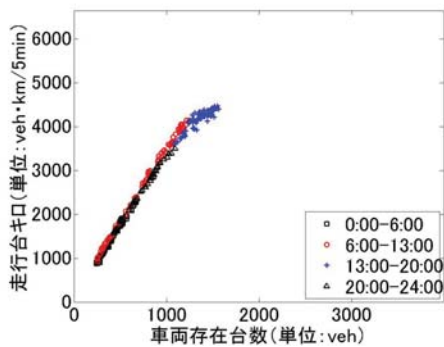
- 雨の平日は晴の平日と比べ、MFDのバラツキ（ある車両存在台数に対して、実現する走行台キロの範囲）が大きくなり、かつ、渋滞領域が現れる可



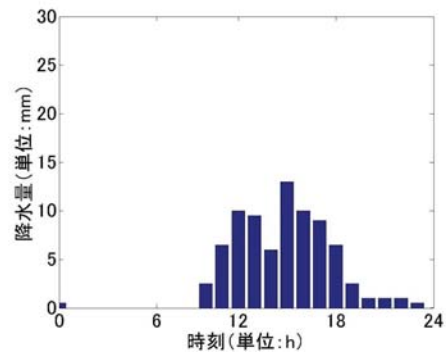
(a) 2012年11月3日(土曜日, 晴)



(a) 2012年10月17日(水曜日, 暴風雨)



(b) 2013年4月7日(日曜日, 晴)



(b) 時間帯別の降水量

図-4 晴の休日のMFD

図-6 雨の平日のMFD

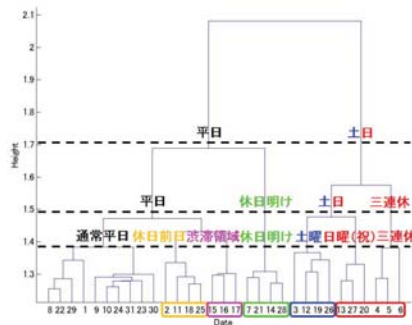


図-5 クラスタリング分類の結果

表-1 MFDの渋滞領域が現れる日の性質の特徴

分類	晴平日	雨平日	晴休日	雨休日	総日
日数	16	32	0	2	50
総計	133	103	69	48	353
比例	12.0%	31.1%	0%	4.2%	14.2%

表-2 MFDの渋滞領域が現れる時間帯の特徴

分類	晴午前	晴午後	雨午前	雨午後	総日
日数	0	16	2	30	48
総計	133	133	103	103	236
比例	0%	12.0%	1.9%	29.1%	20.3%

能性が高くなる,

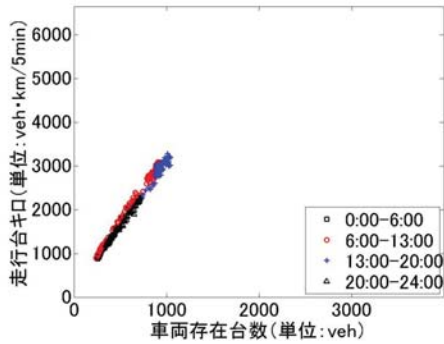
- 雨の休日は晴の休日と比べ、交通需要が極めて少なくなる。

また、悪天候日のMFDの形状は、時間帯別の降水量(図-6(b), 図-7(b)を参照)から容易に理解できる。

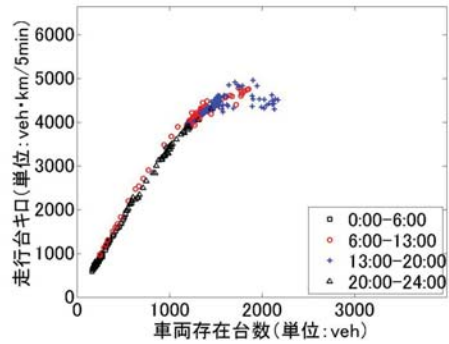
## (2) MFDの渋滞領域が現れる頻度・日時

渋滞領域が現れる日のMFDに関する基本的な集計分析(e.g., MFDの渋滞領域の発生頻度, 発生日の分類,

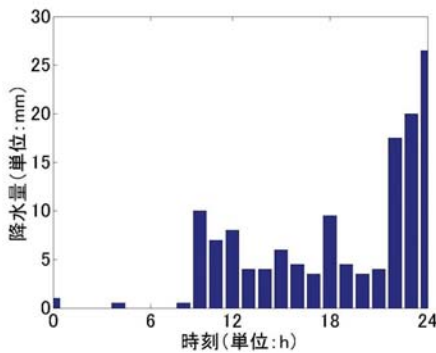
発生時間帯)を行う。1年間のMFDの描画結果(表-1, 表-2に参照)から、まず、晴の平日(約12.0%, 図-8), 雨の平日(約31.1%, 図-9)ともに、ある一定の割合でMFDの渋滞領域が現れていることがわかる。すなわち、那覇市CBDにおいて、MFDの渋滞領域が現れ



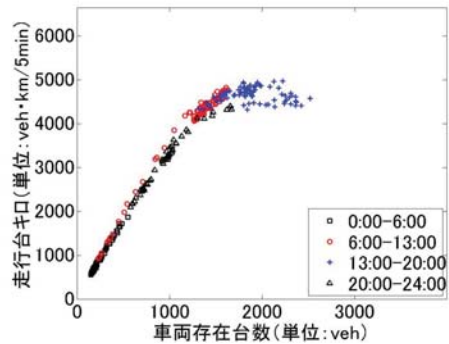
(c) 2012年8月5日(日曜日, 大雨)



(a) 2012年12月6日(木曜日, 晴)



(d) 時間帯別の降水量



(b) 2012年12月25日(火曜日, 晴)

図-7 雨の休日のMFD

図-8 晴の平日におけるMFDの渋滞領域が現れる例

るのは稀な現象ではない<sup>4</sup>。また、平日においてMFDの渋滞領域が現れる時間帯は、ほとんど<sup>5</sup>夕方のピーク時間帯前後であるという特徴もある。一方、雨の土曜・休日には、MFDの渋滞領域が現れる割合が小さくなる(約4.2%, 図-10)。

### (3) 渋滞領域発生のマクロなメカニズム

渋滞領域が現れるMFDのマクロな発生メカニズムは、図-11(b)に示す走行台キロと車両存在台数の時間的推移パターンを関連付けることにより説明することができる。まず、午前中に、走行台キロは8:05にピーク(4767)に達し、最大値付近で約15分ほど留まり、その後減少する。一方、同じ時間帯に車両存在台数は緩やかに増加し続け、8:50に最大値(1857)に達する。8:05~8:50にかけて、走行台キロの速やかな降下と車両存在台数の大幅な増加が同時に見られないため、MFD渋滞領域が明示的に現れない。午後では、走行台キロは、16:45にピーク(4923)に達して、その後、1時間(18:35ま

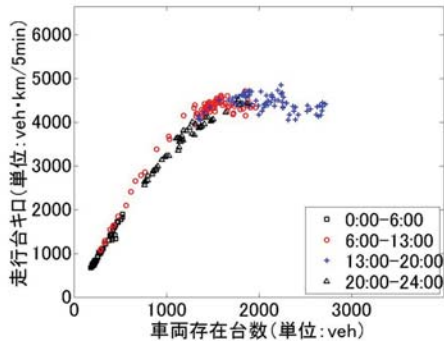
で)かけて傾き $S_3^f$ で3998まで減少する。逆に、同じ時間帯の車両存在台数は、傾き $S_3^d$ で1809から2337まで増加し続ける。これは、MFD曲線上で、傾き $S_3^f/S_3^d$ を持つ渋滞領域の上側曲線上での状態推移(渋滞形成過程)に対応している。その後、走行台キロは、18:35~19:50にかけて、傾き $S_4^f$ で3998から4397まで回復する。一方、車両存在台数は傾き $S_4^d$ で2337から1788まで減少する。これは、MFD曲線上では、傾き $S_4^f/S_4^d$ を持つ渋滞領域の下側曲線上での状態推移(渋滞解消過程)に対応している。その結果、増加過程では上側曲線、減少過程では下側曲線に沿ったMFDの渋滞領域が観測される。

## 4. 渋滞領域発生のみクロなメカニズム分析

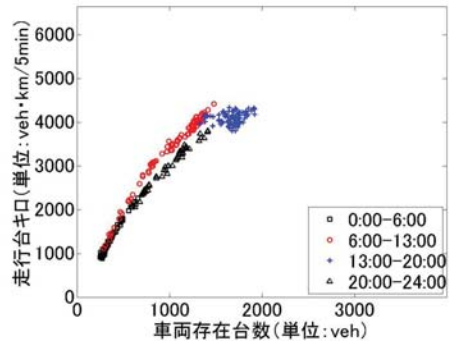
本章では、MFDの渋滞領域発生メカニズムをよりミクロな観点(渋滞パターン)から分析する。そのために、まず、4(1)節では、MFD形状と渋滞パターンに対応関係があることを、クラスタリング分析により示す。続く4(2)節では、時間帯別の渋滞リンク数と空間分布という2つの観点から、MFDの渋滞領域が現れる日の

<sup>4</sup> 仙台市CBDのMFDでは渋滞領域がほとんど発生しないこと<sup>15)</sup>と対照的である。

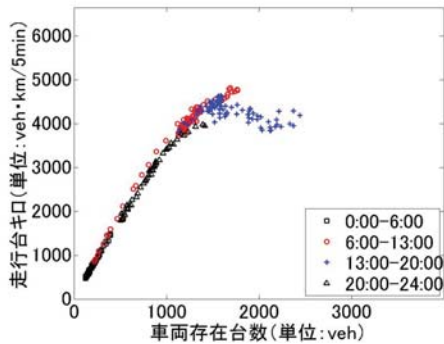
<sup>5</sup> 1年間を通じて、(大雨の影響により)朝ピーク時間帯におけるMFDの渋滞領域が発生するケースは5月17日と7月9日のみである。



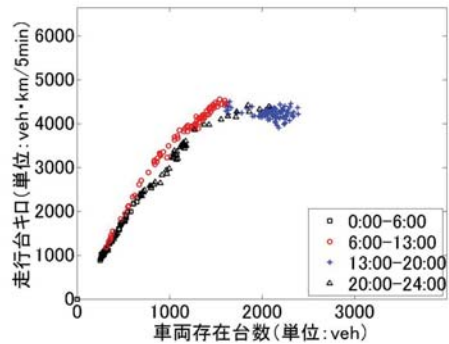
(a) 2012年9月28日 (金曜日, 一時雨)



(a) 2012年6月2日 (土曜日, 大雨)



(b) 2013年1月7日 (月曜日, 一時雨)



(b) 2012年12月1日 (土曜日, 一時雨)

図-9 雨の平日における MFD の渋滞領域が現れる例

図-10 雨の休日における MFD の渋滞領域が現れる例

渋滞パターンの特徴を明らかにする。

### (1) 渋滞パターンの類似度の評価

渋滞パターンを用いて、MFD 形状の特性メカニズムを分析する準備として、MFD 形状が類似している日の時間的な渋滞パターンの進展もまた類似している、という対応関係があることを見ていこう。そのために、MFD の分類 (3(1,b) 節) を行ったクラスタリング手法を用いて、1 日内の渋滞パターンの進展を分類する。具体的には、時間帯  $t$  におけるリンク  $i$  の車両速度  $v_t^i \leq 20\text{km/h}$  のとき渋滞状態と判断し、時間帯  $t$  におけるリンク  $i$  は渋滞であれば 1、そうでなければ 0 となるような「0-1 行列」で渋滞パターンの進展を表現し (図-12 (a) も参照)、その後、クラスタリング手法を適用する。

2012 年 5 月の分類結果を図-12 (b) に示す。これにより、土曜・休日と平日が綺麗に分類されるだけでなく、MFD の渋滞領域が現れる日と現れない日もはっきり区別されることがわかる。この分類結果は図-5 に示す MFD 形状の分類結果と比べ、渋滞領域発生時間帯は夕ピークである 15 日・16 日は同じクラスターに属し、17 日は朝ピーク時間帯における雨の影響で、通常

より混雑している日のクラスターに移動する。

### (2) 渋滞パターンを用いた分析

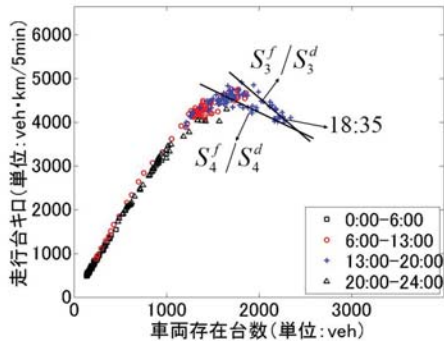
本節では、時間帯別の渋滞リンク数、渋滞リンクの空間分布という 2 つの観点から、MFD 渋滞領域が現れる日の渋滞パターンの特徴を明らかにした上で、渋滞領域発生メカニズムを考察する。

#### a) 時間帯別の渋滞リンク数

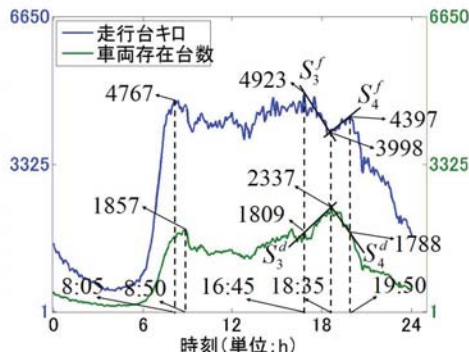
まず、MFD の渋滞領域が現れる日と現れない日 (その典型的な MFD は図-13 を参照) を選んで、時間帯別の (分析エリア内の) 渋滞リンク数を比較しよう。図-14 から、MFD の渋滞領域が現れる日は、渋滞リンクのシェアがそうでない日に比べて非常に高いことがわかる。前節のクラスタリングにおいて、渋滞領域が現れる日とそうでない日がはっきり分類された理由は、この違いによるものであろう。また、渋滞リンクのシェアが高い割合の時間帯が長い時間帯に渡って継続していることも読み取ることができる。

#### b) 時間帯別の渋滞リンクの空間上の分布

上記で、MFD の渋滞領域が現れる日には、渋滞リンクのシェアが高い時間が長い時間帯で続くことを見た

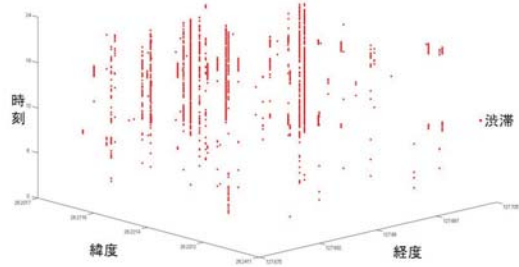


(a) MFD

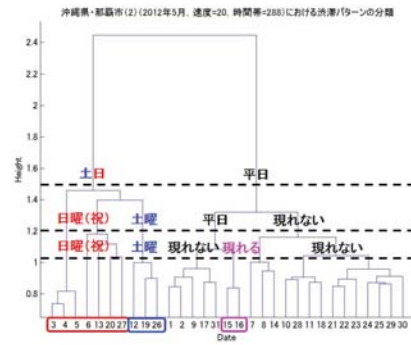


(b) 集計値時間的推移

図-11 2013年2月12日(火曜日, 一時雨)



(a) 時間的な渋滞パターン進展の表現 (赤点：渋滞)



(b) 階層型クラスタリング分析結果

図-12 クラスタリング方法を用いた渋滞パターンの分類

が、その原因と考えられるのが、待ち行列の延伸である。Geroliminis and Skabardonis<sup>7)</sup> はシミュレーション分析により、待ち行列の延伸箇所数と MFD の走行台キロの関係を調べる。具体的には、待ち行列の延伸箇所数はある境界値を超えると、MFD の走行台キロが大幅に下がることを示される。ここでは、実データを用いてこの関係が成立するかを調べる。

ここでは、夕方のピーク時間帯 16:30 ~ 19:30 を対象時間帯とし、分析エリアの全てのリンクの渋滞発生頻度を出力する。その結果を示したのが図-15 である。ここで、赤線は 16:30 ~ 19:30 に 50%以上の時間帯 (5 分刻み) で、緑線は 30% ~ 40%の時間帯で渋滞状態を観測したリンクを表す。この図により、MFD の渋滞領域が現れない日と比べ、渋滞領域が現れる日には待ち行列の延伸とみられる渋滞リンクの列がみられる。

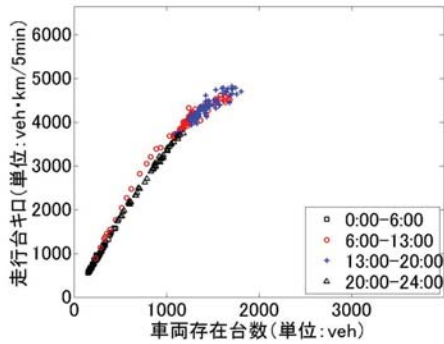
待ち行列の延伸箇所数と MFD の渋滞領域発生との関係を定量的に分析するために、本研究では、時間帯  $t$  における待ち行列の延伸箇所数  $\sum_{i,j \in I; i \neq j} S_t^{ij}$  は以下のように定義する。

$$\begin{cases} S_t^{ij} = 1 & \text{if } D_t^i = O_t^j \quad \forall i, j \quad i \neq j \quad \forall t \\ S_t^{ij} = 0 & \text{if } D_t^i \neq O_t^j \quad \forall i, j \quad i \neq j \quad \forall t \end{cases} \quad (3)$$

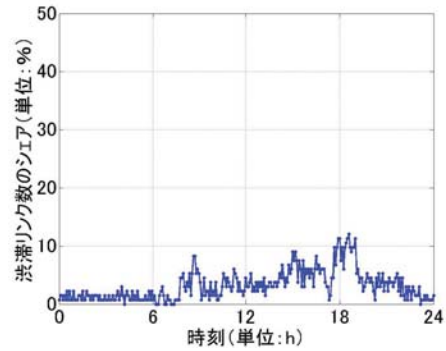
ここで、 $D_t^i$  は時間帯  $t$  における渋滞リンク  $i$  の終点であり、 $O_t^j$  は時間帯  $t$  における渋滞リンク  $j$  の終点である。すなわち、もし、接続するリンクが同時に渋滞すれば、リンク  $i, j$  の待ち行列の延伸が発生した ( $S_t^{ij} = 1$ ) と判断する。

上記の待ち行列延伸の定義を用いて、1 日の 24 時間の時間帯別の待ち行列の延伸箇所数を出力すると、図-16 のようになる。この図より、夕ピーク時間帯、MFD の渋滞領域が現れる期間の待ち行列待ち行列の延伸箇所数は多いとわかる。さらに、MFD の渋滞領域が現れる現象と待ち行列の延伸箇所の関係を詳しく調べる。2012 年 5 月 16 日の 17:30 に、走行台キロ  $P_t$  は最大値  $P_{max}$  に達し、その時、 $S_t = 7$  である。その後の両者の関係を時間の流れに沿った 4 つの段階に分けて考察していく。

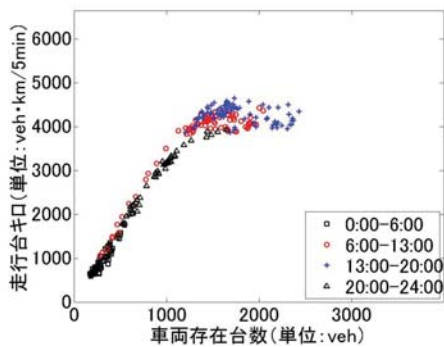
- 17:30 ~ 17:50：待ち行列の延伸箇所数が短時間に 20 に達し、MFD の渋滞領域の発生が始まる。
- 17:50 ~ 18:45：MFD の渋滞領域の形成過程であり、待ち行列の延伸箇所数  $S_t$  は 37 までに増加し続けて、同時に、走行台キロ  $P_t$  も減少する。
- 18:45 ~ 19:35：MFD の渋滞領域の解消過程であ



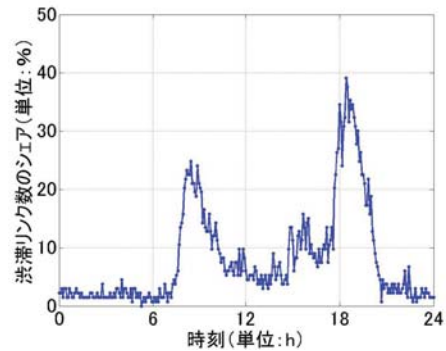
(a) 2012年5月7日(月曜日, 晴, 現れない日)



(a) 2012年5月7日(月曜日, 晴, 現れない日)



(b) 2012年5月16日(水曜日, 一時雨, 現れる日)



(b) 2012年5月16日(水曜日, 一時雨, 現れる日)

図-13 MFDの渋滞領域が現れる日と現れない日

図-14 渋滞リンク数の時間的推移

り、待ち行列の延伸箇所数  $S_t$  は 10 までに減少し続けて、同時に、走行台キロ  $P_t$  も増加する。

- 19:35 ~ 20:30 : 待ち行列の延伸は緩やかに減少し、待ち行列の延伸箇所数が  $S_t = 0$  の状態になる。

上述の時間帯別の渋滞パターンの変化により、夕ピーク時間帯において、時間帯別の待ち行列の延伸箇所数  $S_t$  が急激に増加することによって MFD の渋滞領域が発生し、かつ、その数の増加とともに MFD の渋滞領域が徐々に現れるという様子がわかる。ここでは、1つの例を挙げるに溜まったが、より体系的な分析結果は研究発表会で報告する予定である。

## 5. おわりに

本研究は、那覇市 CBD の一般道路ネットワークを対象として、Macroscopic Fundamental Diagram の渋滞領域発生メカニズムを実証的に明らかにする。5 分刻みの観測データから描かれた毎日の MFD を 1 年間 (2012 年 5 月 1 日 ~ 2013 年 4 月 30 日) に渡って実証的に観察した結果により、平日における約 20.3%、雨の休日における約 4.2% の日で、MFD の渋滞領域が明示的に

発生することがわかった。

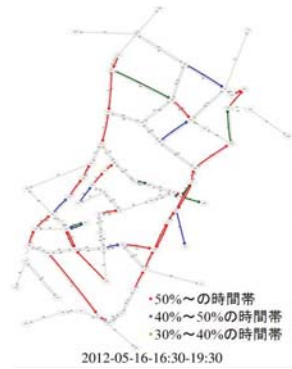
さらに、走行台キロ・車両存在台数時間帯推移と時間帯別渋滞パターンの観察を通じて、MFD の渋滞領域発生メカニズムを説明した。特に、MFD の渋滞領域が現れない日と比べ、現れる日の (夕) ピーク時間帯における渋滞パターンは以下の特徴を持つことがわかった：(1) 時間帯別の渋滞リンク数が多い；(2) 待ち行列の延伸箇所も多い。渋滞リンクの空間的な接続関係を考慮した定量的な分析結果は報告会で報告する予定である。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、日本道路交通情報センター (JARTIC) より貴重なデータをご提供いただきました。また、本研究は、日本学術振興会・科学研究費補助金・基盤研究 (B) (課題番号：15H04053)；日本学術振興会・科学研究費補助金・若手研究 (B) (課題番号：26820207) を受けた研究の一部である。そして、東北大学大学院情報科学研究科博士前期課程の陳潔氏からは、データ処理に関連して協力を得た。ここに記し、謝意を表します。



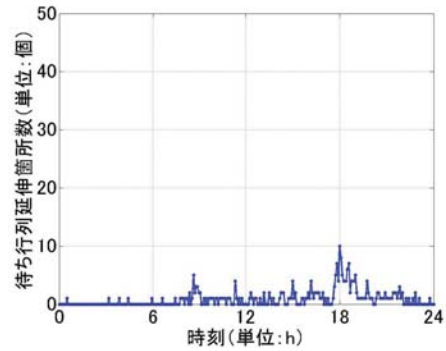


(a) 2012年5月7日(月曜日, 晴, 現れない日)

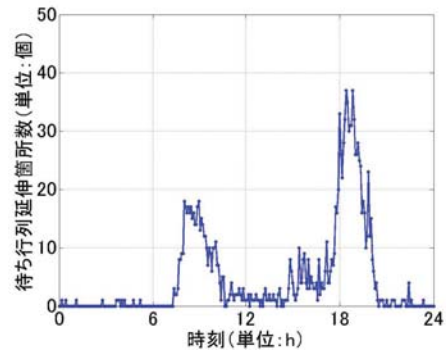


(b) 2012年5月16日(水曜日, 一時雨, 現れる日)

図-15 渋滞リンクの空間分布



(a) 2012年5月7日(月曜日, 晴, 現れない日)



(b) 2012年5月16日(水曜日, 一時雨, 現れる日)

図-16 待ち行列の延伸箇所数の時間的推移

## 参考文献

- 1) Buisson, C. and Ladier, C.: Exploring the impact of homogeneity of traffic measurements on the existence of macroscopic fundamental diagrams. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2124(12), pp.127-136, 2009.
- 2) Daganzo, C.F.: Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches. *Transportation Research Part B* 41(1), pp.49-62, 2007.
- 3) Du, Y., Wu, J., Jia, Y. and Xu, M.: MFD-based regional traffic volume dynamic control. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 14(2), pp.162-167, 2014.
- 4) Geroliminis, N. and Daganzo, C.: Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings. *Transportation Research Part B* 42(9), pp.759-770, 2008.
- 5) Geroliminis, N. and Sun, J.: Properties of a well-defined macroscopic fundamental diagram for urban traffic. *Transportation Research Part B* 45(3), pp.605-617, 2011a.
- 6) Geroliminis, N. and Sun, J.: Hysteresis phenomena of a macroscopic fundamental diagram in freeway networks. *Transportation Research Part A* 45(9), pp.966-979, 2011b.
- 7) Geroliminis, N. and Skabardonis, A.: Identification and analysis of queue spillovers in city street networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 12(4), pp.1107-1115, 2011.
- 8) He, Z., Guan, W., Fan, L. and Guan, J.: Characteristics of macroscopic fundamental diagram for Beijing urban ring freeways. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 14(2), pp.199-205, 2014.
- 9) Ji, Y.X., Geroliminis, N. and Luo, J.: Empirical observation of congestion propagation and dynamic partitioning with probe data for large scale systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2422(14), pp.1-11, 2014.
- 10) Knoop, V.L. and Hoogendoorn, S.P.: Empirics of a generalized macroscopic fundamental diagram for urban freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2391(13), pp.133-141, 2013.
- 11) Lu, S., Wang, J., Liu, G. and Shao, W.: Macroscopic fundamental diagram of urban road network based on traffic volume and taxi GPS data. *Journal of Highway and Transportation Research and Development* 31(9), pp.138-144, 2014.
- 12) Saberi, M. and Mahmassani, H.S.: Exploring properties of networkwide flow-density relations in a freeway network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2315(16), pp.153-163, 2012.
- 13) Saberi, M. and Mahmassani, H.S.: Hysteresis and capacity drop phenomena freeway networks: Empirical characterization and interpretation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Re-*

- search Board 2391(5)*, pp.44-55, 2013.
- 14) Saeedmanesh, M. and Geroliminis, N.: Empirical observation of MFDs and hysteresis loops for multi-region urban networks with stop-line detectors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, In press, 2015.
  - 15) Wang, P., Wada, K., Akamatsu, T. and Hara, Y.: An empirical analysis of macroscopic fundamental diagrams for Sendai road networks. *Interdisciplinary Information Sciences 21(1)*, pp.49-61, 2015.
  - 16) Yoshii, T., Yonezawa, Y. and Kitamura, R.: Evaluation of an area metering control method using the macroscopic fundamental diagram. *The 12th World Conference on Transport Research*, pp.1-12, 2010.
  - 17) Zhu, L., Yu, L. and Song, G.: MFD-Based investigation into macroscopic traffic status of urban networks and its influencing factors. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition) 40(11)*, pp.138-146, 2012.
  - 18) 土生恭祐, 桑原雅夫, 原祐輔: 交通状態の時空間変化がMFDに与える影響. *土木計画学研究・講演集 Vol.47*, 136(CD-ROM), 2013.

(2015. 4. 24 受付)