

プローブデータを活用した MFDの特性及び要因に関する基礎的研究

尾高 慎二¹・吉井 稔雄²・藤井 浩史³・神戸 信人⁴

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: odaka@oriconsul.com

²正会員 愛媛大学大学院教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

³正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: kanbe@oriconsul.com

⁴正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: fujii-hr@oriconsul.com

都市内の交通状態の把握方法であるMacroscopic Fundamental Diagram (MFD) はエリア内の交通流動量と交通密度の関係を集計的に捉える指標として、我が国においても適用に向けた研究が進められている。本研究では、全国のうち3エリアを対象に、近年普及が進みつつあるETC2.0データの特性を踏まえた上で、集計交通流率と集計交通密度の集計QK関係からETC2.0データを用いたMFDの存在をPiecewise Linear 回帰分析(折れ線回帰)により定式化を行い、道路幅員別の交通流率の割合や道路ネットワーク状況よりMFDの特性や要因についての基礎的な分析を行った。その結果、各エリアともMFDの存在が確認されたとともに、道路幅員の広い(規格の高い)道路ネットワーク状況により、MFDの形状が異なることを確認した。

Key Words : Macroscopic Fundamental Diagram, ETC2.0 Data, Piecewise Linear Regression Models

1. はじめに

我が国では、全国の都道府県庁所在地等の中心市街地において道路ネットワークは概成されつつあるものの、道路交通の需要が多いことから渋滞が発生するとともに、交通事故等の道路交通課題が残存している。都市内の交通状態の把握方法として、Daganzo¹⁾は対象エリア内における交通流動量と交通密度の関係を集計的なレベルで捉える指標として、Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)を提案している。MFDは、エリア内の流動量を最大とする交通密度が存在することが示されており、Geroliminis and Daganzo²⁾は実際の都市ネットワークにおいてMFDが存在することを明らかにした。我が国でも近年MFDを用いた研究は高速道路ネットワークを用いた流入制御手法に関する研究³⁾の他、王⁵⁾らによる一般道の渋滞を対象に車両感知器により観測されたデータを用いて、MFDの特徴を明らかにするとともに、渋滞領域が現れるメカニズムを分析している。そのような中、我

が国においてはETC2.0等のプローブデータにより交通状態の分析のためのデータが取得、蓄積されつつある。今後のETC2.0データの普及も踏まえ、ETC2.0データにより都市内の道路ネットワークにおけるMFDの存在を確認し、MFDと道路ネットワークの形成との関係を明らかとすることで、道路ネットワークの変化に伴う最大交通流率の増加等のMFDの変化を捉えることで、都市内の道路ネットワークの評価が可能になると考える。そこで、本研究では、全国の都道府県庁を中心とした都心部の一定エリア内の道路ネットワークとして、愛媛県松山市、新潟県新潟市、東京都新宿区の3エリアを対象に、近年普及が進みつつあるETC2.0データの特性を踏まえた上で、集計交通流率と集計交通密度の集計QK関係からETC2.0データを用いたMFDをPiecewise Linear 回帰分析(折れ線回帰)により定式化を行うとともに、ETC2.0データを用い、エリア内の集計交通流率(走行台キロ)と集計交通密度(走行台時)の集計QK関係からMFDの存在を確認するとともにその特徴について分析を行う。

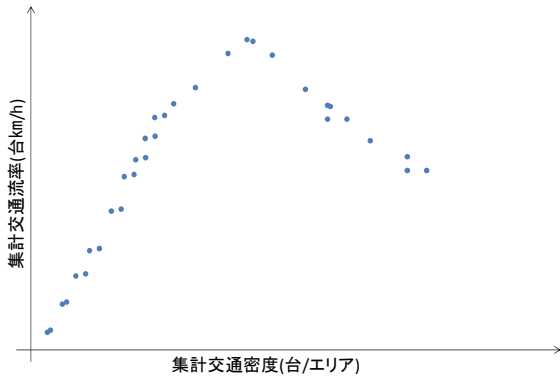


図-1 集計QK状態図イメージ

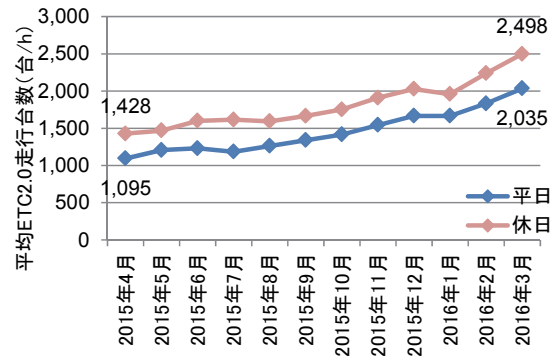


図-2 ETC2.0のサンプル数の推移 (東京都新宿区中心部)

2. ETC2.0データを用いた集計QK

(1) 集計QKの定義

本研究における、ETC2.0データを用いたMFDの考え方に基づく集計QK関係を既往研究⁷⁾に基づき定義する。エリア内の複数のリンクから構成される道路ネットワークを定め、同エリアの交通状態を示す指標として、式1, 2にて集計交通流率と集計交通密度を定義する。

$$Q = \sum_{i \in L} (q_i \times d_i) \quad (1)$$

$$K = \sum_{i \in L} (q_i \times t_i) \quad (2)$$

- Q : 集計交通流率(台km/h)
- K : 集計交通密度(台/エリア)
- q_i : リンク i の交通流率(台/h)
- d_i : リンク i の区間長(km)
- t_i : リンク i における所要時間(h)
- L : エリア内のリンクの集合

(2) ETC2.0による集計QKデータの生成

a) ETC2.0データの概要

国土交通省が高速道路 (ITSスポット) 及び直轄国道 (経路情報収集装置) でETC2.0対応車載器より収集しているプローブ情報データのうち、本研究では、走行履歴データ (様式1-2) を用いる。走行履歴データには、車両情報 (車種, 用途), 時刻, 緯度・経度, 道路種別 (高速, 都市高速, 一般道, その他), 速度, DRMマッチング後のDRM等のデータが含まれている。走行履歴データの蓄積条件は、①走行距離200m毎, ②進行方向変化45度以上, ③挙動履歴 (前後加速度, 左右加速度, ヨー角速度が閾値を超過) となっており、走行距離80kmまでが蓄積可能となっている。なお、走行開始, 終了地

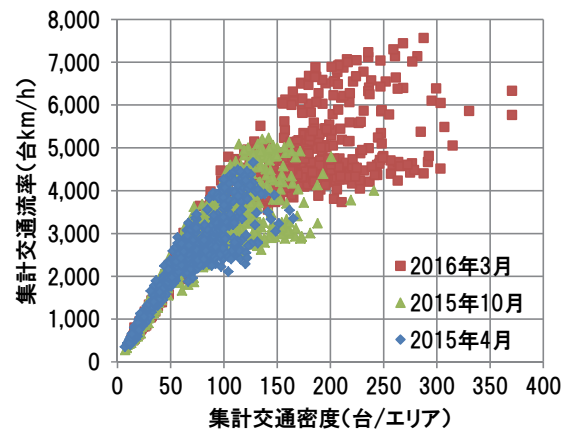


図-3 月別MFD (東京都新宿区中心部)

点の概ね半径500mは個人情報の観点から収集されない。

b) ETC2.0データによる走行台キロ・走行台時の集計

ETC2.0走行履歴データのDRMマッチング前の緯度経度の位置データより2点間の直線距離を算出し、エリア内のETC2.0搭載車両の総走行台キロとして計上する。また、その緯度経度の蓄積時のGPS時刻を用いて、2点間の所要時間を算出し、エリア内のETC2.0搭載車両の総走行台時として計上する。なお、データの異常値の除去については、2点間の距離は、ETC2.0の取得条件を踏まえ250m以上、所要時間については30分以上となるトリップについては、トリップを分割する等により異常値の除去を行っている。

c) サンプル数の伸びを考慮した集計QKデータの生成

ETC2.0は現在普及段階であるため、毎月ETC2.0の走行台数 (サンプル数) が増加している。図2に東京都新宿区中心部の2015年4月から2016年3月までのサンプル数の推移を示す。この結果、2015年4月から2016年3月までで平日で約1.9倍、休日で約1.7倍サンプル数が増加していることがわかる。また、図3に2015年4月, 10月, 2016年3月の東京都新宿区中心部のMFDを示す。この結果、サンプル数の伸びによりMFDの形状も相似的に伸びていることから、サンプル数の伸びを考慮したMFDの分析が必要である。そこで、ETC2.0のサンプル

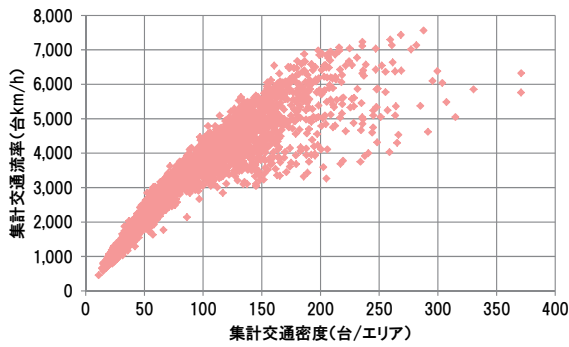


図4 基準化前MFD (東京都新宿区：休日)

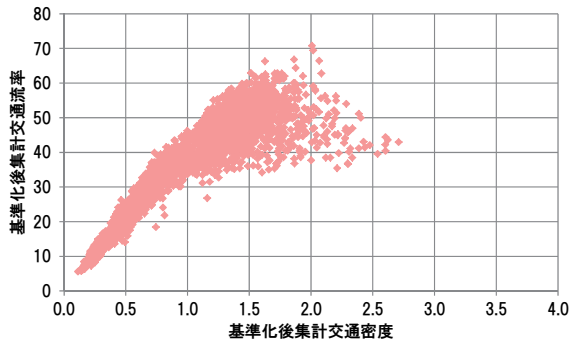


図5 基準化後MFD (東京都新宿区：休日)

数の伸びを以下の式 3 により、各月平休別平均集計交通密度により基準化する。

$$V = \frac{Q/\bar{K} \leftarrow \text{基準化後 } Q}{K/\bar{K} \leftarrow \text{基準化後 } K} \quad (3)$$

V : 旅行速度 (km/h)

Q : 集計交通流率(台km/h)

K : 集計交通密度(台/エリア)

\bar{K} : 各月平休別平均集計交通密度(台/エリア)

その結果、基準化前のMFD (図4) に対し、基準化後のMFD (図5) では、基準化後集計交通流率が最大となる基準化後集計交通密度の存在がより明確となり、ETC2.0データのサンプル数の伸びの影響を考慮したMFD分析が可能となるため、本研究では基準化後のデータによりMFDの分析を行う。

3. 都心部におけるMFDの特性分析

(1) 分析対象エリア

本研究では、都心部のMFDの分析対象範囲として、図6に示す愛媛県松山市 (以下、愛媛県)、図7に示す新潟県新潟市 (以下、新潟県)、図8に示す東京都新宿区 (以下、東京都) の各都心部として県庁及び都庁を中心

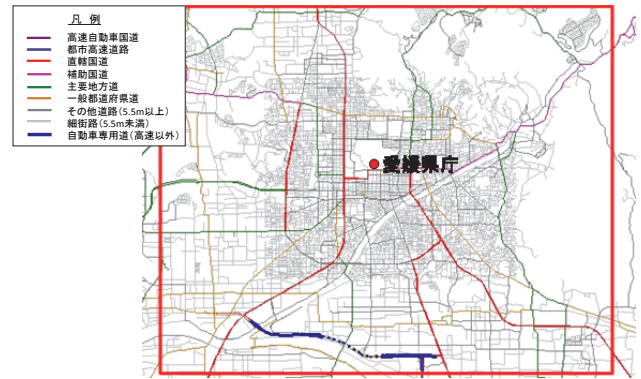


図6 分析対象エリア (愛媛県松山市)



図7 分析対象エリア (新潟県新潟市)

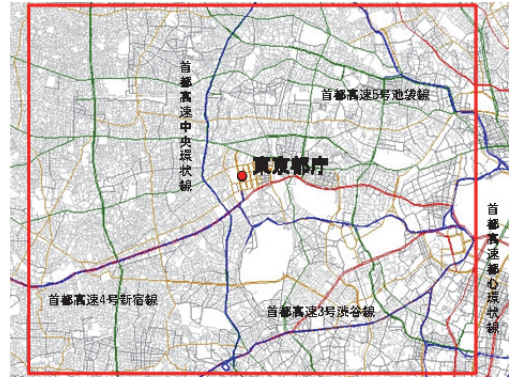


図8 分析対象エリア (東京都新宿区)

とした9km四方のエリアを対象とする。

(2) 分析データの概要

本研究で使用するETC2.0データの概要を表1に示す。集計期間は平成27年4月から平成28年3月までの1年間366日とし、1時間毎に先述のエリア内走行台キロと走行台時を基準化したデータを使用する。各エリアのETC2.0データの取得時間数とエリア内の延トリップ数を表2に示す。取得時間数は、各エリアとも8,760時間以上取得されている。また、エリア内の延トリップ数については、愛媛県で年間約64万トリップであるのに対し、新潟県で年間約189万トリップ、東京都では年間約1,380万トリップと地域によりデータ量には大きな差がある。

(3) MFDの特性分析

各エリアのMFDの集計QK関係については、東京都の

表-1 ETC2.0使用データの概要

対象データ	走行履歴データ (様式1-2)
集計期間	平成 27 年 4 月～平成 28 年 3 月 (366 日)
集計単位	1 時間単位の集計 (最大: 8784 時間/年)

表-2 各エリアの取得時間数及び延トリップ数

取得時間数	愛媛県松山市: 8,782 時間/年 新潟県新潟市: 8,762 時間/年 東京都新宿区: 8,784 時間/年
エリア内延トリップ数	愛媛県松山市: 約 637,500 トリップ/年 新潟県新潟市: 約 1,892,900 トリップ/年 東京都新宿区: 約 13,804,000 トリップ/年

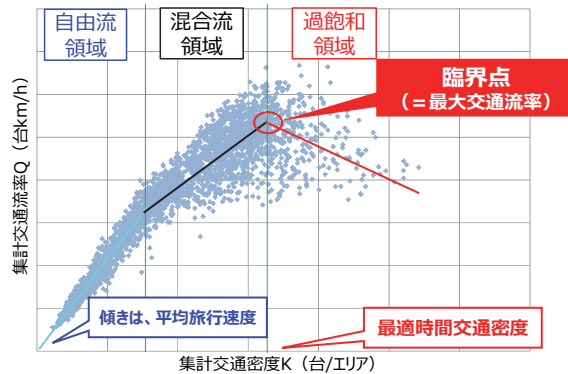


図-9 基準化後の集計 QK 状態図及び交通流領域

休日の MFD を示した図 5 を見ると、図 9 で示すように最大交通流率となる臨界点が存在するとともに、自由流領域と混合流領域においても折れ点が存在し、交通状態が転換している可能性が考えられる。そこで、各エリアについて、図 10 に示すような Piecewise Linear 回帰分析により MFD 関係を分析する。Piecewise Linear 回帰分析は以下の式 4 により、各パラメータを推定する。

$$y_i = \beta_1(xd_1 + k_1d_2 + k_1d_3) + \beta_2\{(x-k_1)d_2 + (k_2-k_1)d_3\} + \beta_3(x-k_2)d_3 \quad (4)$$

y_i : 従属変数

x : 独立変数

k_i : break-point(閾値)

d_1 : ダミー変数($x < k_1$ のとき 1)

d_2 : ダミー変数($k_1 < x < k_2$ のとき 1)

d_3 : ダミー変数($x > k_2$ のとき 1)

β_i : 線分の傾き

Piecewise Linear 回帰分析による各エリアの k (閾値) 及びパラメータの推定結果、決定係数を表 3 及び図 11 から図 16 に示す。分析の結果、全てのエリアの平日、休日ともに Piecewise Linear 回帰分析において、全てのパラメータが 1% 有意であるとともに、決定係数 R^2 が高い。パラメータ β_1 においては、全てのエリアで平日よりも休日

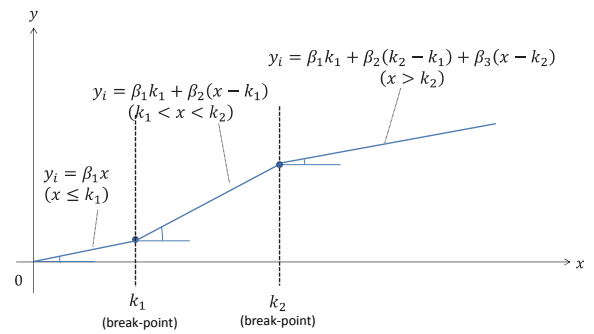


図-10 Piecewise Linear 回帰モデル

表-3 Piecewise Linear 回帰分析の推定結果

エリア	平休別	β_1	β_2	β_3	R^2	サンプル数
愛媛県	平日	22.8*	16.5*	13.2*	0.984	5,902
	休日	23.0*	13.4*	—	0.988	2,880
新潟県	平日	32.7*	19.3*	5.9*	0.986	5,904
	休日	31.2*	14.9*	—	0.986	2,877
東京都	平日	37.6*	16.7*	-3.48*	0.987	5,904
	休日	43.2*	24.7*	-8.07*	0.988	2,880

* 1%有意 ** 5%有意

表-4 Piecewise Linear 回帰分析の推定結果

エリア	平休別	k_1	k_2
愛媛県	平日	0.65	1.70
	休日	0.90	—
新潟県	平日	0.59	19.6
	休日	1.11	—
東京都	平日	0.82	1.51
	休日	0.78	1.54

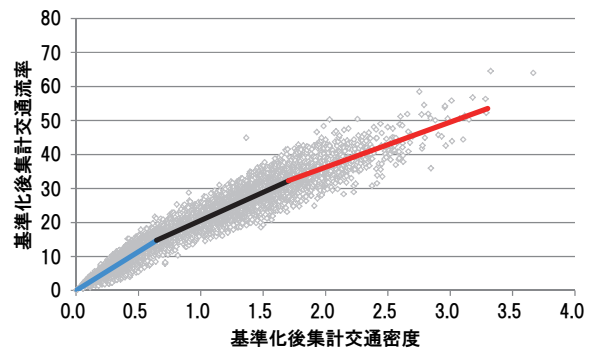


図-11 愛媛県松山市の MFD (平日)

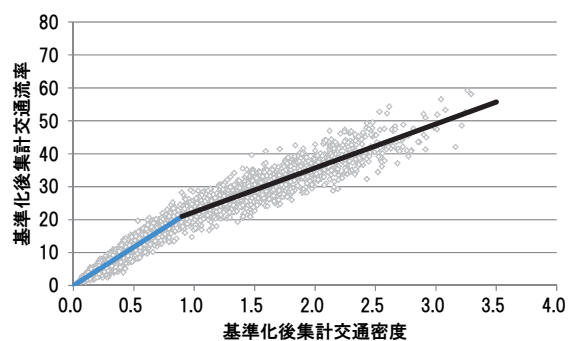


図-12 愛媛県松山市の MFD (休日)

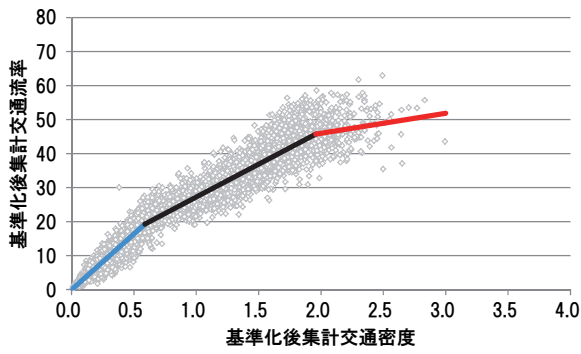


図-13 新潟県新潟市の MFD (平日)

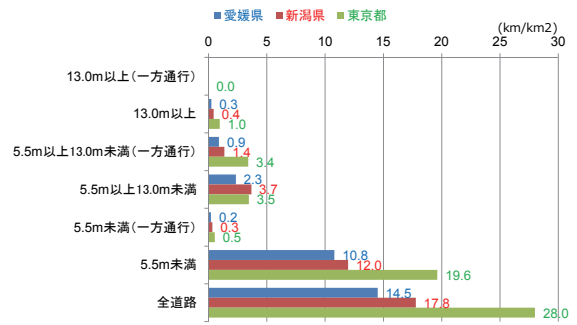


図-17 各エリアの道路幅員別道路密度

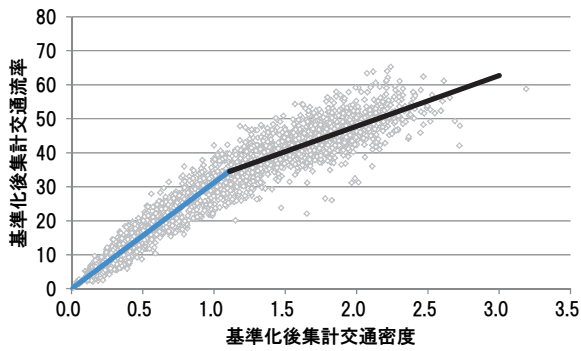


図-14 新潟県新潟市の MFD (休日)

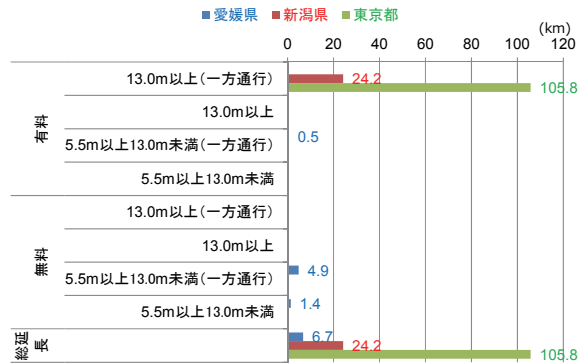


図-18 各エリアの自動車専用道路延長

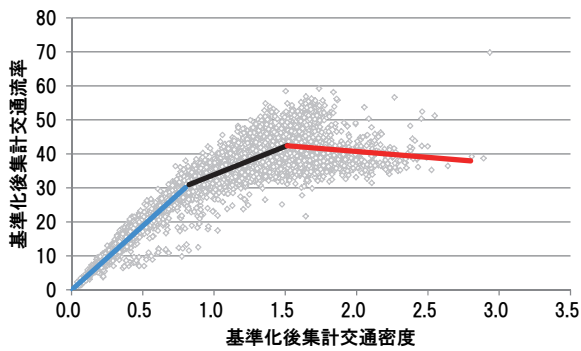


図-15 東京都新宿区の MFD (平日)

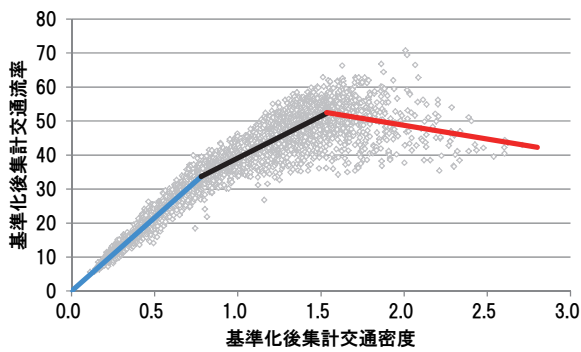


図-16 東京都新宿区の MFD (休日)

以上と旅行速度が高くなる結果を得られた。一方、愛媛県については平日で22.8、休日で23.0と他のエリアに比べ低くなっている。これは、図17に示すような広幅員な道路密度や図18に示す自動車専用道路の延長、またそれらのネットワーク形状が影響していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、愛媛県松山市、新潟県新潟市、東京都新宿区の3エリアを対象に、ETC2.0データを用い、集計QK関係からMFDの存在を確認するとともにその特徴について分析を行った。その結果、各エリアともMFDが確認されるとともに、Piecewise Linear 回帰分析結果より、交通状態が転換していることを明らかにした。今後は、全国の都道府県について分析を進めるとともに、都心部エリアにおけるMFDの形成要因についてさらなる詳細な分析を行うことと、交通状態における事故リスク値の変化の評価と併せることで、道路ネットワークの評価に向けた研究を推進する。なお、本研究は、地域道路経済戦略研究会における検討の一環として、四国地方整備局より委託され、ETC2.0データを用いて分析を行ったものである。

の方が高い結果となった。新潟県と東京都においては30

参考文献

- 1) Daganzo, C. F.: Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches, *Transportation Research Part B*, Vol.41, No.1, pp.49–62,2007.
- 2) Geroliminis, N. and Daganzo, C. F.: Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings. *Transportation Research Part B*, Vol. 42, No.9, pp. 759-770, 2008
- 3) 割田博, 桑原雅夫, 吉井稔雄, 稲富貴久: 首都高速道路における集計 QK を用いたエリア流入制御の適用に関する研究, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.49, 2014.
- 4) 前原慎也, 吉井稔雄, 高山雄貴: MFD を用いた流入制御手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.49, 2014.
- 5) 王鵬飛, 和田健太郎, 赤松隆, 原祐輔: 仙台市一般道路ネットワークにおける Macroscopic Fundamental Diagram に関する実証研究, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.50, 2015.
- 6) 王鵬飛, 赤松隆, 和田健太郎: 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, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.51, 2015.
- 7) 吉井稔雄, 塩見康博, 孫瀟瀟, 北村隆一: 集計 QK を用いたエリア流入制御手法, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.37, 2008.

(2018.4.27 受付)

A STUDY ON CHARACTERISTICS AND THE FACTORS OF MACROSCOPIC FUNDAMENTAL DIAGRAM USING PROBE DATA

Shinji ODAKA, Toshio YOSHII, Hiroshi FUJII, and Nobuto KANBE