

MFDを用いた 流入制御手法に関する研究

前原 慎也¹・吉井 稔雄²・高山 雄貴³

¹学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: maehara.shinya.09@cee.ehime-u.ac.jp

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

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

³正会員 愛媛大学助教 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

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

エリア内の交通状況をエリア交通密度とエリア交通流動量の関係で示すMacroscopic Fundamental Diagram(MFD)の概念を用いた流入制御手法である集計QK制御が提案されている。集計QK制御の有効性はシミュレーション解析を通して示されているが、同制御の制御効果はネットワーク形状やOD交通量に依存すると考えられ、制御効果発現の条件は明らかとなっていない。そこで、本研究は集計QK制御の制御効果が発現する条件を把握することを目的とする。具体的には、制御開始時の集計QK状態および集計QK状態の時間推移ベクトルに着目し、阪神高速道路ネットワークを対象とした交通流シミュレーションを用いて、制御効果との関係を分析した。その結果、集計交通密度が増加し、集計交通流率が減少する状況下で制御を実施した場合のみ、制御効果が発現する可能性があるとの結果を得た。

Key Words : Macroscopic Fundamental Diagram, Area metering control, Traffic congestion

1. はじめに

Daganzo^①は時々刻々と変化する都市内の交通状態の把握方法として、Macroscopic Fundamental Diagram(MFD)を提案した。MFDは対象エリア内における交通流動量と交通密度との関係を示すものであり、この関係より、エリア内の流動量を最大にする交通密度が存在することが示された。したがって、この関係を利用することで、エリア内の交通密度の管理のみで高い交通量を獲得できる可能性があると期待される。その後、Geroliminis and Daganzo^②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。そして、米澤ら^③は、MFDの考え方に基づいて、集計QK関係を定義し、同関係を用いた流入制御手法である「集計QK制御」を提案した。同制御の有効性はシミュレーション解析を通して制御の有効性を示されている。しかし、集計QK制御の制御効果はネットワーク形状やOD交通量に依存すると考えられ、効果が発現する条件はまだ整理されていない。

そこで、本研究は集計QK制御の制御効果が発現する条件の把握を目的として、交通流シミュレーションを用

いて、制御開始時の集計QK状態および集計QK状態の時間推移と制御効果の関係を分析する。

2. 集計QK

本章では、MFDの考え方に基づいた集計QK関係を定義する。複数のリンクから構成される道路ネットワークエリアを定め、同エリアの交通状態を示す指標として、式(2a)、(2b)にて集計交通流率と集計交通密度を定義する。この集計交通流率と集計交通密度との関係を集計QK関係と定義する。両指標間には、単路部において成立する交通流率-交通密度関係と同様に図1に示すような集計交通流率を最大にする集計交通密度が存在することが示されている。この関係より、ある特定の値に集計交通密度を維持することで高い集計交通流率が獲得できると考えられる。

$$Q = \sum_{i \in L} (q_i \times d_i) \quad (2a)$$

$$K = \sum_{i \in L} (k_i \times d_i) \quad (2b)$$

- 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)
- k_i : リンク i における交通密度
- L : 制御対象エリア内のリンクの集合

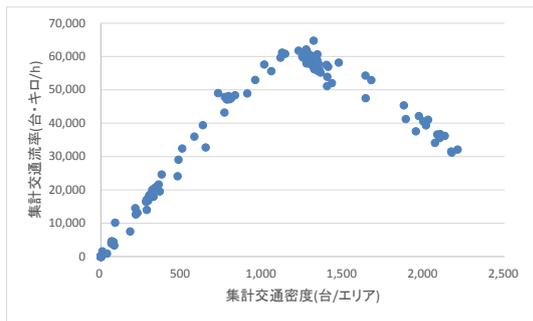


図1 集計 QK 状態図

3. 集計QK制御

集計 QK 制御は、前述の通り集計交通密度を高い集計交通流率が得られる密度の維持することを目的として、図2のフローに従って制御を実施する。制御では、単位時間 ΔT 毎(5分毎)に制御開始・終了の判定を行う。時刻 t におけるエリアの集計交通密度が目標密度 K_S を上回った場合に制御を開始する。そして、制御を実施している際に、制御終了密度 K_E を下回ると制御を終了するものとする。ここで、目標密度 K_S 、制御終了を判定する集計交通密度 K_E 、制御リンク、制御流入交通量を事前に設定する必要があるが、これらの値については4章にて述べる。

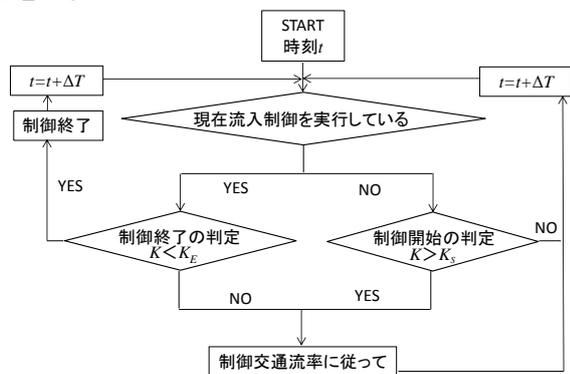


図2 制御フロー

4. 制御効果発現の交通状態の分析

本章では、交通流シミュレーション SOUND を用いて、制御開始時の集計 QK 状態と集計 QK 状態の時間推移と制御効果の関係を分析する。

(1) 対象ネットワーク

対象とする道路ネットワークは、7号北神戸線、8号京都線、31号神戸山手線、湾岸垂水線を除く阪神高速道路ネットワーク(図3)である。なお、図中赤で示したリンクは集計 QK 制御対象エリアで、環状線と放射線の一部から構成されるネットワークである。



図3 阪神高速道路ネットワーク

(2) 交通流シミュレーション概要

本分析には、交通流シミュレーション SOUND を用いる。SOUND はリンク毎に QK 関係を設定し、そこから導かれる車両速度—車頭距離に従って、スキャニングインターバル毎に個々の車両をネットワーク上で移動させる交通流シミュレーションモデルである。各リンクには、交通容量を設定し、QK 平面上の自由流側は原点を始点に傾き $60(\text{km/h})$ の線分、渋滞流側は、傾き $-20(\text{km/h})$ の線分を描くことで、QK 関係を設定する。リンクの交通容量は原則、車線数 $\times 1,800(\text{台/h})$ と設定する。使用する OD 交通量は、2008年5月22日の午前5時~正午の起終点調査結果と検知器情報に基づいて推定された1時間単位のデータを用いる。総発生車両台数は268,928台である。

(3) 制御対象交通状態

前節で示した条件でシミュレーションを実施した結果、制御を実施しない場合において図4のような結果が得られた。図中の各プロットは、5分ごとに集計された集計交通流率と集計交通密度である。図より、平常時には、集計交通流率を低下させるほどの集計交通密度の

上昇が発生しないため、環状線内に突発事象の発生を想定する。具体的には、図3中の矢印が示すリンクにおいて、7:30~9:00の間、事故の発生を想定し、リンク交通容量を1/2としてシミュレーションを実施する。突発事象を想定した場合の集計 QK 状態図を図5に示す。図より、高い集計交通密度が出現し、集計交通流率が著しく低下していることが確認できることから、本分析は、突発事象の発生を想定した交通状況において実施する。分析の対象となる交通状態はエリア内の全リンクが臨界状態である場合の集計交通密度である1,374(台/エリア)以上の集計 QK 状態、計24プロットとする。

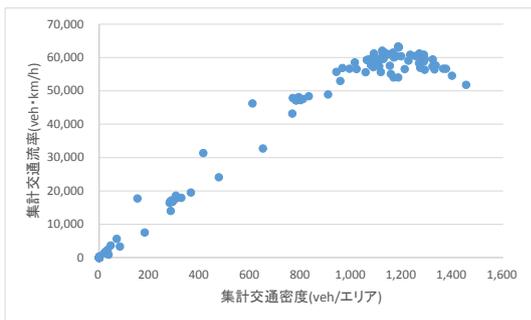


図4 集計 QK 状態図(平常時)

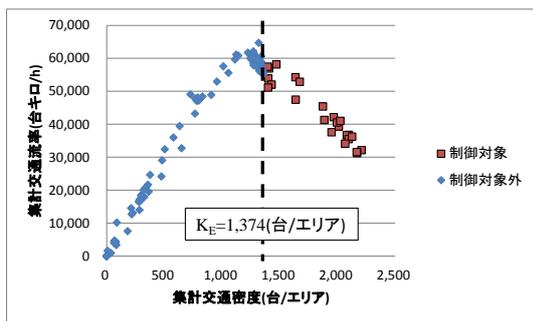


図5 集計 QK 状態図(突発事象想定時)

5. シミュレーション結果

(1) 集計 QK 状態と制御効果

本節では、シミュレーション結果から集計 QK 状態と制御効果の関係の分析する。図6に集計 QK 状態と制御効果の関係を示す。ここで、制御効果を表す指標として総旅行時間を用いる。総旅行時間とは、オンランプ部での「総待ち時間」とネットワーク上に出現して目的地に到達するまでの「総旅行時間」の和である。制御効果は、総旅行時間が制御を実施しない場合と比べて、減少した場合は効果ありとし、増加した場合は効果なしとする。図より、集計交通密度が1,300~1,800(台/エリア)にかけては、制御効果が発現した場合としない場合が混在しており、互いの交通状態には集計 QK 状態図上においては大きな違いは見られなかった。また、集計交通密度が1,800(台/エリア)を超えた付近から、グリッドロックが発生すると結果が得られた。この結果より、大きな制御開始密度を持つ交通状態である時、制御効果は得られず、かえって、ネットワーク内の円滑性を損ねてしまう可能性がある。

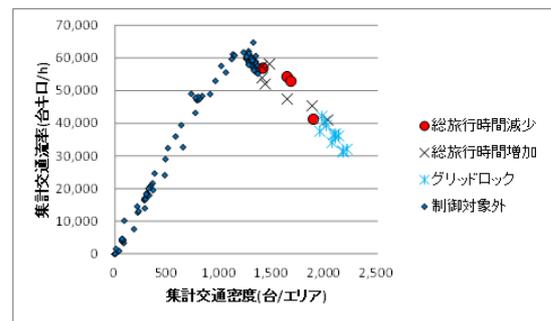


図6 集計 QK 状態と制御効果

(4) 制御パラメータの設定

(a) 目標台数の設定 K_S

制御は集計 QK 状態が分析対象の交通状態となったとき、開始するものとし、以後、同交通状態における集計交通密度を制御開始集計交通密度として、図2に示した制御フローに従って制御を実施する。

(b) 制御終了を判定する集計交通密度 K_E

制御終了を判定する集計交通密度はエリア内の各リンクの臨界密度にリンク長を乗じ、それを全リンク、合算した値である、 $K_E = 1,374$ (台/エリア)とする。

(c) 制御リンク・制御流入交通量

制御は制御対象エリア内の全オンランプ(10オンランプ)を対象とする。制御流入交通量については、一律0とした。

(2) 集計 QK 状態の時間推移と制御効果

本節では、シミュレーション結果から集計 QK 状態の時間推移と制御効果の関係の分析する。集計 QK 状態の時間推移は集計 QK 状態図上の制御開始時のプロットと直前時間のプロットを結ぶベクトルで表す。したがって、集計 QK 状態の時間推移のベクトルは制御開始時のプロットと直前時間のプロット間での集計交通流率の変化量と集計交通密度の変化量をもって表される。そして、同ベクトルを図7のように4つに分類する。(+,+)は集計交通密度が増加、集計交通流率が減少したことを示す。図8に集計 QK 状態の時間推移のベクトルと制御効果の関係を示す。図より、ベクトルが(+,-)である交通状態の時のみ、制御効果が発現し、その他では発現しないとの結果が得られた。ベクトルが(+,-)の交通状態はエリア内の渋滞が延伸する状態であり、(-,+)の交通状態は渋

滞りが解消する状態であると考えられる。以上より、集計 QK 制御の制御効果は、エリア内の渋滞が延伸する交通状態において制御効果が発現し、解消する交通状態では発現しない可能性が示された。

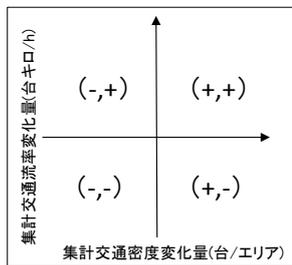


図7 集計 QK 状態の時間推移のベクトルの分類

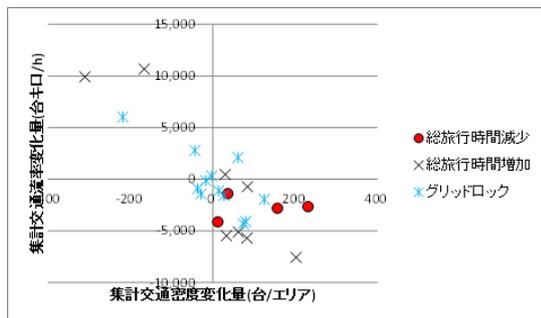


図8 集計 QK 状態の時間推移と制御効果

6. まとめ

本稿では、集計 QK 制御開始時の集計 QK 状態および集計 QK 状態の時間推移と制御効果の関係の分析を行った。その結果、大きな集計交通密度を持つ交通状態である時、制御実施により、グリッドロックが発生するため、

ネットワーク内の円滑性を大きく損ねる可能性が示された。そして、集計 QK 状態の時間推移において、エリア内の渋滞が解消する交通状態においては制御実施による効果が得られない可能性が示された。一方で、集計 QK 状態の時間推移に関しては、エリア内の渋滞が延伸する交通状態において制御効果が発現する可能性が示された。しかし、依然として制御効果が得られる交通状態の把握には至っていない。今後は、ネットワーク内の交通の偏りが制御効果に与える影響を分析することで、制御効果発現の交通状態の把握に努める。

謝辞：最後に、本研究をすすめるにあたり、阪神高速道路株式会社より貴重なデータをご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Daganzo, C. F., 2007. Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches. *Transportation Research Part B*, Vol. 41, No. 1, pp. 49-62.
- 2) Geroliminis, N. and Daganzo, C. F., 2008. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings. *Transportation Research Part B*, Vol. 42, No.9, pp. 759-770.
- 3) 米澤悠二・吉井稔雄・北村隆一：集計 QK を用いたエリア流入制御手法の実施効果検証，土木計画学研究発表会・講演集（CD-ROM），2009.

(2014.4.25 受付)

A STUDY OF METERING CONTROL METHOD USING THE MACROSCOPIC FUNDAMENTAL DIAGRAM

Shinya MAEHARA, Toshio YOSHII and Yuki TAKAYAMA

This study investigates traffic condition which can get the benefit from metering control using Macroscopic Fundamental Diagram (MFD). MFD is the relationship between area flow and area density in road network. By using this relationship, it is expected the liquidity of the network can be improved just keeping the density on the network. And then the metering control using MFD is proposed and tested by simulation. However the condition that the effect can be obtained have not been clarified yet. In this study, we focus on the condition of MFD and time transition of the condition of MFD and analysis these factors. As the result, the benefit of the metering is not obtained in the condition that traffic congestion will be recovered.