

集計QKを用いたエリア流入制御手法*

Development of a ramp metering method to improve an area network flow performance using macroscopic fundamental diagram*

吉井稔雄**・塩見康博***・孫瀟瀟****・北村隆一*****

By Toshio YOSHII**・Yasuhiro SHIOMI***・Xiaoxiao SON****・Ryuichi KITAMURA*****

1. はじめに

本稿では、検知器情報のみで実施可能、OD情報を必要としないエリア流入制御手法を提案する。同流入制御手法は、対象として定める道路ネットワークエリア内の車両存在台数を管理するもので、混雑時の車両存在台数があらかじめ設定した制御目標台数を維持するよう対象エリアへの流入交通量を調節する。以下、対象道路ネットワークエリアの交通状態とネットワークパフォーマンスの関係、ここでは交通密度と交通量の関係、を記述する集計QK関係を定義し、実交通データを用いて同関係の性質を把握する。続いて、集計QK関係を活用したエリア流入制御手法を提案し、その制御効果を検証する。

2. 集計QK

本章では、Geroliminisら¹⁾によって提案されたMFD (Macroscopic Fundamental Diagram) の考え方に基づいた集計QK関係を定義する。さらに、実交通データを用いて同関係の性質を把握する。

(1) 集計QKの定義

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解析対象とし、同エリアの交通状況、ネットワークパフォーマンスを示す指標として、式(1)にて算定する集計交通流率ならびに式(2)の集計交通密度を用いる。この集計交通流率と集計交通密度の関係を集計QK関係と定義する。

・集計交通流率

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

ただし、

Q : 集計交通流率 (台・km/h)

q_i : リンク*i*の交通流率 (台/h)

d_i : リンク*i*の区間長 (km)

L : エリアに存在するリンクの集合

・集計交通密度

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

K : 集計交通密度 (台/エリア)

k_i : リンク*i*における空間車両密度 (台/km)

(2) 集計QK関係の性質

a) 対象道路ネットワーク

解析対象とする道路ネットワークエリアは、図1に示す阪神高速道路環状線道路ネットワークとした。ただし、流入部検知器、流出部検知器に対応するリンクは含めない。同ネットワークは時計回り一方通行の環状道路であり、区間検知器に対応する17のリンクが含まれる。また、エリア内には複数のボトルネックが存在し、混雑時にはエリア全域に渋滞が広がる状況も見受けられる。

b) データ

分析には、図1中に示す計43検知器のデータを用いる。各検知器からは、5分間交通量、5分間占有率、5分間平均速度などのデータが獲得される。本研究では、2007年6月4日(月)から同6月8日(金)の5日間のデータを用いた。ここで、オフランプの場合は街路から、放射線路線に向かうリンクの場合は放射線下流側からの渋滞延伸によってその流量が制限される状況が考えられる。流入制御を考えるにあたっては、このように流出部リンクで発生する容量低下現象についても考慮しなければなら

*キーワード：流入制御，QK，道路ネットワーク

**正員，博士（工学），京都大学都市社会工学専攻

（京都市西京区京都大学桂，TEL:075-383-3239，FAX:075-383-3241，e-mail:yoshii@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

***学生員，工修，京都大学都市社会工学専攻

****学生員，工修，京都大学都市社会工学専攻

*****正員，Ph. D.，京都大学都市社会工学専攻



図1 阪神高速道路環状線道路ネットワーク

いが、以下では、純粋に対象道路ネットワークエリアの交通処理能力を把握したいとの考えから、エリア外で発生した渋滞がエリア内まで延伸した状況は除外して分析を行う。具体的には、流出部検知器による5分間平均速度が40km/h以下となった場合に、その時間帯の全検知器データを分析から除外した。

分析に先立ち、各検知器から獲得される交通量データの精度検証を行った。すなわち、隣りあう環状線上区間検知器間を一区間とし(図2参照)、同区間に流入する5日間全交通量と流出する5日間全交通量を比較した。図3に式(3)にて算定した各区間の誤差率を示す。

$$\delta_i = \left(1 - \frac{\tilde{q}_{i+1}^{total} + \sum_{j \in B_i} \tilde{q}_j^{total}}{\tilde{q}_i^{total} + \sum_{j \in A_i} \tilde{q}_j^{total}} \right) \times 100 \quad (3)$$

δ_i : 当該区間*i*の誤差率(%)

\tilde{q}_i^{total} : 検知器*i*で観測された5日間交通量(台)

A_i : 区間*i*に存在する流入部検知器の集合

B_i : 区間*i*に存在する流出部検知器の集合

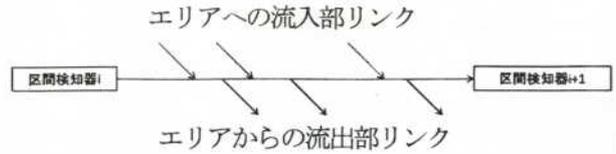


図2 検知器データの検証を行う区間*i*

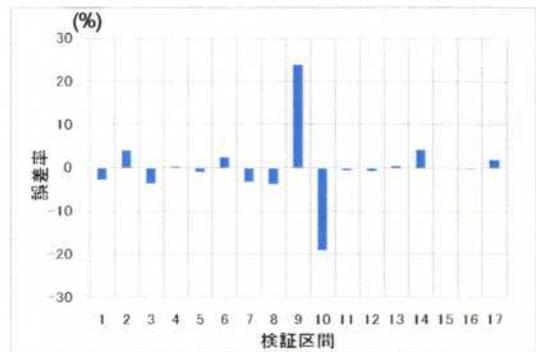


図3 環状線各区間の誤差率

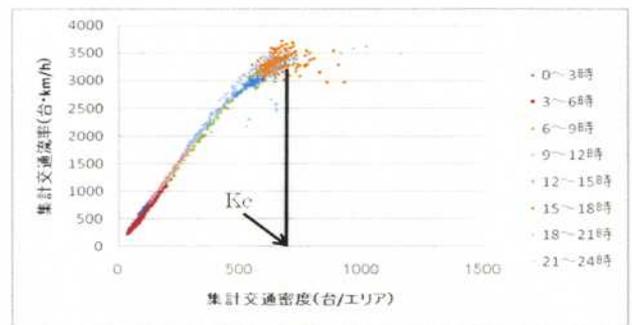


図4 集計QK関係図

区間内の検知器に異常がなければ誤差率 δ_i は0に近い値を取るようになる。多くの区間では比較的0に近い値を示したが、区間9と10で正負反対の大きな誤差率を示した。この結果は、解析対象期間中またはその直前に何らかの異常が発生したことを理由に、両区間をつなぐ区間検知器No.10によって交通量が過小評価された可能性を示すものである。そこで、区間検知器No.10のデータ信頼性は低いと判断し、このデータを分析から除外した。

c) 集計QK関係

前述のデータを用い、式(1)で示される集計交通流率、式(2)で示される集計交通密度を5分単位で算定した。なお、検知器データの制約から、 q_i 、 k_i はそれぞれ式(4)、式(5)にて算定した。

$$q_i = \tilde{q}_i \times \frac{60}{5} \quad (4)$$

$$k_i = \frac{\tilde{q}_i}{\tilde{v}_i} \times \frac{60}{5} \quad (5)$$

\tilde{q}_i : 検知器*i*の5分間交通量(台)

\tilde{v}_i : 検知器*i*の5分間平均速度(km/h)

以上により獲得された集計QK関係図を図4に示す。図中 K_c 以下の集計交通密度においては、集計交通流率が集計交通密度に比例して増加するのに対し、集計交通密度が K_c を超えた場合には集計交通流率が同じかやや減少傾向にあることが読み取れる。すなわち、集計交通密度を K_c に維持することが高い集計交通流率の確保につながるということが示された。ただし、今回の分析が一つのケーススタディに過ぎないこと、また集計交通密度が K_c を超える状況のデータが十分に得られていないことから、集計QK関係の一般的性質については今後更なる検証を行う必要があるものと考えられる。

3. エリア流入制御手法

以下、前章の知見を利用し、エリア状道路ネットワークを対象とした流入制御手法の制御アルゴリズムを提案する。

提案する制御アルゴリズムは、前章で示した集計交通流率を最大化する集計交通密度 K_c を制御目標とし、混雑時の集計交通密度が K_c を維持するよう以下にて流入交通量を調節する。制御では、単位時間 dt 毎にその調節交通量を更新する。なお、 K_c は観測データに基づいて事前に設定する。

① 制御開始の判定

集計交通密度であるエリア内車両台数が制御目標集計交通密度を上回った場合に制御を開始する。

② 制御終了の判定

制御開始後は、集計交通密度が制御目標集計交通密度 K_c の $a\%$ を下回った場合に制御を終了する。ただし、 a は制御パラメータである。

③ 制御実施時の制御レートの算定

全ての流入部リンクで制御を実施することとし、各流入部リンクの制御交通流量は前時間帯の流量に一律の割合を乗じた式(6)で算定、同流量を上限として流入交通量を制限する。

$$N_i(t) = I_i(t-1) \times \frac{K_c - K(t-1) + \sum_{i \in B} O_i(t-1)}{\sum_{i \in A} I_i(t-1)} \quad (6)$$

ただし、

$N_i(t)$: t 番目時間帯における流入部リンク i の制御交通量 (台)

$I_i(t)$: t 番目時間帯における流入部リンク i の交通量 (台)

$O_i(t)$: t 番目時間帯における流出部リンク i の交通量 (台)

$K(t)$: t 番目時間帯終了時の集計交通密度(台/エリア)

A : 流入部検知器の集合

B : 流出部検知器の集合

4. 制御効果の検証

本章では、提案したエリア流入制御手法を単純な道路ネットワークに適用し、その実施効果を検証する。検証には吉井ら²⁾の開発したシミュレーションモデルSOUNDに流入制御機能を追加したモデルを用いる。

a) 道路ネットワークと交通量の設定

図5に、検証に用いる道路ネットワークを示す。道路ネットワークは、制御対象エリア内4リンク、対象エリアへの流入2リンク (No.1,5)、流出2リンク (No.3,8) で構成し、ノードは起点2ノード (No.1,2)、終点2ノード (No.3,4) を設定した。また、制御対象エリア内のリンク7をボトルネックとして設定した。

SOUNDモデルでは、各リンクにあらかじめ設定する交通量-交通密度関係 (以下Q-K関係) から導かれる車両速度-車頭距離関係に従って車両を移動する。各リンクには交通容量を設定し、Q-K平面上、自由流側は原点を始点に傾き60km/hの線分、渋滞側では傾き20km/hの線分を用い、図6に示す形で各リンクのQ-K関係とした。表1には、設定した各リンクのリンク長ならびに交通容量値を示す。

OD交通量は、ノード1からノード3、ノード1からノード4、およびノード2からノード4、の3つのODペアそれぞれについて1,200台/時の交通を、発生間隔一定 (3秒) で2時間、計7,200台発生させた。

b) 制御目標集計交通密度

制御目標集計交通密度は、流入制御を行わない場合のシミュレーション結果に基づいて算定した。図7は上述の設定でシミュレーションを行った結果獲得された集計QK関係である。各プロットは5分間の集計交通密度と集計交通流率を示し、集計交通密度は各時間帯終了時刻におけるエリア内車両台数、集計交通流率は式(7)によって算定した。この結果に基づいて、本節の検証における制御目標集計交通密度を400(台/エリア)に設定した。

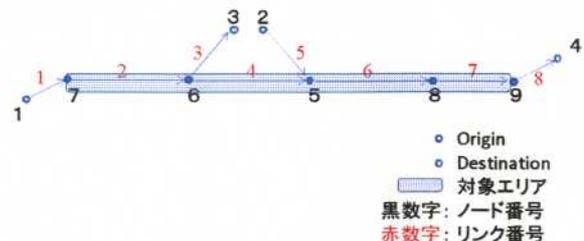


図5 検証に用いる道路ネットワーク

表1 リンク長とリンク交通容量

リンク番号	距離[m]	交通容量[台/時]
1	60	3600
2	2000	3600
3	60	3600
4	100	4800
5	2100	3600
6	2000	3600
7	1000	1800
8	60	3600

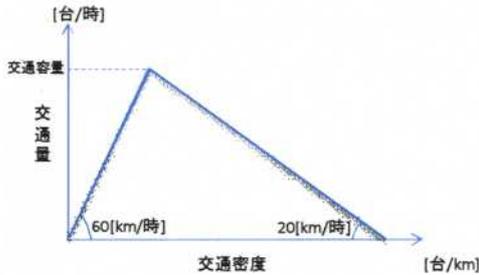


図6 各リンクに設定したQ-K関係

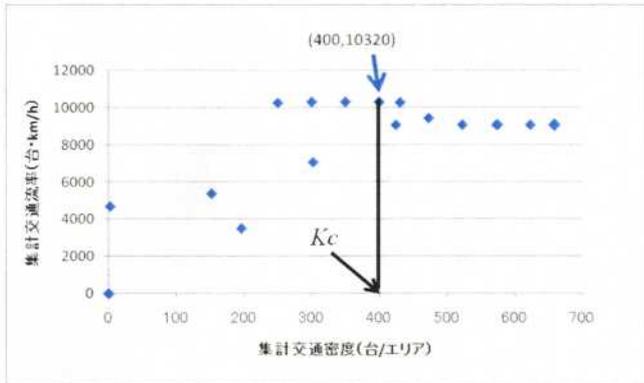


図7 シミュレーションから得られた集計QK関係

$$Q(t) = \sum_{i=2,4,6,7} q_i(t) \cdot d_i \frac{60}{5} \quad (7)$$

$Q(t)$: t 番目時間帯における集計交通流率 (台・km/h)

$q_i(t)$: t 番目時間帯におけるリンク i の交通量 (台)

c) 検証結果

図8には、5分間ごとの集計交通流率を示す。なお、制御実施ケースにおける制御単位時間 dt を5分、制御終了の判定に用いる割合 ($a\%$) を90%としてシミュレーションを行った。シミュレーション開始後30分あたりから制御実施ケースの集計交通流率が制御無しの場合よりも高い値を示しており、制御実施によって高い車両流動性を確保できることが示された。表2には、総遅れ時間、ならびにODペア別の平均旅行時間を示す。なお、制御実施時における各車両の旅行時間は、制御による待ち時間も含めて算出したものである。表より、制御なしケー

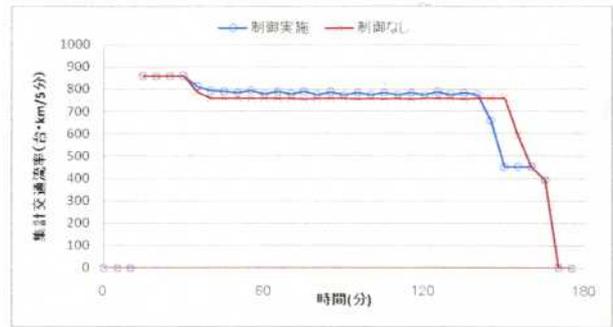


図8 集計交通量の比較

表2 制御実施有無の比較

	平均旅行時間[分]	
	制御無し	制御実施
OD(1→3)	13.5	10.4
OD(1→4)	25.2	21.9
OD(2→4)	25.1	28.3
全OD	総遅れ時間[時間]	
	制御無し	制御実施
	2046	1922

スとの比較で、制御実施ケースにおいて数%程度の総遅れ時間減少効果があること、すなわち、エリア流入制御実施に渋滞緩和効果のあることが示された。一方、ODペア別の平均旅行時間を比較すると、ノード1を起点とするODに制御実施による旅行時間短縮効果が認められるのに対して、ノード2を起点とするODは逆に旅行時間が長くなるとの結果を得た。すなわち、一部のODペアに対して旅行時間の増加を強いる可能性があるという知見が得られた。

5. おわりに

本研究では、エリア状に広がる道路ネットワークを対象にOD交通量を必要としないエリア流入制御手法を提案した。さらに、仮想状況下での検証を通じてその有効性を示した。今後は、集計QK関係の一般的性質を明らかにするとともに、実観測データを用いた有効性の検証を行う。

最後に、研究を進めるにあたり阪神高速道路株式会社から貴重なデータを提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Geroliminis N. and Daganzo C.F., Macroscopic modeling of traffic in cities, 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C, 2007
- 2) 吉井稔雄・桑原雅夫・森田緯之: 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの開発, 交通工学, Vol.30, No.1, pp.33-41, 1995