ネットワーク形状と交通状況に適応したランプ流入制御手法*1

Ramp metering strategies well fit to the characteristics of the network topology and traffic demands *1

遠藤皓亮*2・吉井稔雄*3・藤井聡*4

By Kosuke ENDO*2 • Toshio YOSHII*3 • Satoshi Fujii*4

1. はじめに

高速道路を対象とした流入制御手法として種々の制御手法が提案されている.なかでも,都市内高速道路のネットワークパフォーマンス向上を目的とする代表的な制御手法として,LP型ランプ流入制御手法¹⁾が提案されている.同手法は制御時間帯における高精度の予測OD交通量が必要であること,および一般街路への影響が考慮されていないことなど,いくつか問題がありこれまでに複数の改良型モデルが提案されているものの,未だ実用化されるには至っていない.そこで,先行研究²⁾では,制御の実用化を視野に入れ,OD交通量を要件とすることなく,ネットワーク全体の交通密度に基づいたエリア流入制御手法を提案し,阪神高速道路を対象としたシミュレーション解析により,その制御効果を示している.

本稿では、ネットワーク形状とボトルネックの数に着目し、同先行研究が提案した"集計 QK を用いたエリア流入制御手法"の様々なネットワークにおける有効性を検証する。制御効果が確認されている環状ネットワークと路線ネットワークでは、路線特性が大きく異なってくるため、まずネットワークの類型化を行い、その上でどういったネットワーク形状やボトルネックの数に対して集計 QK を用いた流入制御が有効であるか分析する。また制御効果がないと考えられる路線ネットワークに対しては、そのネットワーク特性を考慮した制御手法を検討する。

2.集計QK

本章では,Geroliminis ら ³⁾によって提案された MFD(Macroscopic Fundamental Diagram)の考え方を用 いて集計 QK 関係を定義する.

複数リンクから構成される道路ネットワークエリアの 交通状態量として,集計交通流率と集計交通密度を定義 し,両状態量間に存在する関係を集計QK関係と命名す る.集計交通流率Q[台・km/h]は,道路ネットワーク

- *¹ キーワーズ:流入制御, MFD, 道路ネットワーク
- *² 学生員,京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (京都市西京区京都大学桂4-C1-2,TEL075-383-3241, endo@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)
- *3 正員,京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
- * 正員,京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

エリアに内包される全てのリンクについて,リンク単位で算定される単位時間あたりの車両台キロを合算した値,集計交通密度 K〔台/エリア〕は,エリア内に存在する全ての車両台数と定義する.図1に集計交通流率と集計交通密度の関係例を示す.

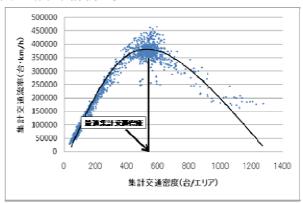


図1 集計 QK 関係の例 (イメージ図)

図は,集計交通密度が小さいうちは密度の増加に伴って集計交通流率が増加するが,密度が大きくなってくると,やがて密度の増加に伴って集計交通流率が低下するとの集計交通密度と集計交通流率との関係を示している.このとき,集計QK関係の形状から,最大の集計交通流率が実現されているときの集計交通密度(以下"最適集計交通密度")が存在する.これより,両者に図1に示される関係があるとすれば,エリア全体の集計交通密度を最適集計交通密度付近に維持することにより,常に高い集計交通流率を維持する可能性があると考えられる.

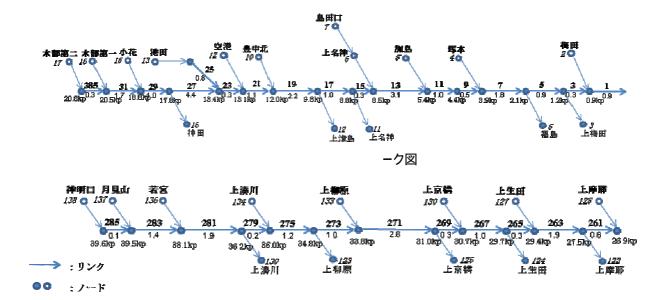
3.対象道路ネットワークと集計 QK 関係

制御対象となる道路ネットワークを以下の2つの視点から類型化する.

面的な広がりをもつか路線状であるか.

ボトルネックが単一であるか複数か

うち,米澤ら ²の研究において,面的な広がりをもち複数のボトルネックを有する環状ネットワークにおける制御の有効性が確認されている.そこで本稿では,路線状ネットワークで,複数のボトルネックを有するネットワークと,単一のボトルネックを有するネットワークについて,制御の有効性を検証していく.なお上述の2つのネットワークの代表路線として,阪神高速道路神戸線,阪神高速道路池田線を用いるものとする.図2に池田線



ネットワーク図を,図3に神戸線の対象とする道路ネットワーク図を示す.

以下では,両路線状道路ネットワークについて,集計QK関係を示すとともに各路線の特徴を分析していく.

(1) 池田線道路ネットワーク

池田線の集計 QK 関係を図4に示す.同図より,図1に示した集計 QK 関係の例と同様に,池田線道路ネットワークにおいても,集計交通密度が増加するにつれて集計交通流率も増加し,集計交通密度が600台付近(最適集計交通密度)を境に,集計交通流率がばらつきが大きくなるものの低下していく傾向があることがわかる.

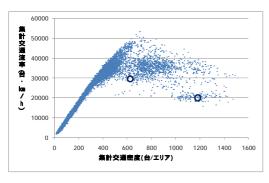


図4 池田線集計QK関係

一方,池田線道路ネットワークは,路線状道路ネットワークで,本線上の交通のほとんどは同ネットワークの下流部に位置する福島,上梅田あるいはその先の環状線以遠のオフランプを目的地としており,かつ池田線内で渋滞する区間はほとんどが塚本オンランプの下流を先頭に発生している.このことから同ボトルネックの容量が池田線全体の流率を決定していると考えられるため,集計交通密度を管理しても同ボトルネックの容量に変化が無ければ全体の流率が上がるとは考えられない.

(2) 神戸線道路ネットワーク

神戸線の集計 QK 関係を図5に示す.神戸線に関しても,一般的な集計 QK 関係と同様に,集計交通密度が増加するにつれて集計交通流率も増加し,集計交通密度が600台前後(最適集計交通密度)を境に,ばらつきがあるものの集計交通流率が低下する傾向が確認できる.

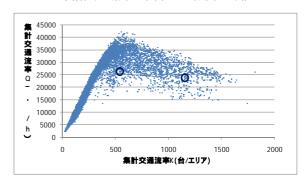


図5 神戸線集計QK関係

同道路ネットワークも路線状ネットワークであるが, 池田線と違う点は,ネットワーク内のオフランプを利用 する車両が多数存在しているということ,ならびにボト ルネックが複数存在し,渋滞の先頭となる地点が時間的 に変化しているという点である.そのため,ネットワー ク内の交通密度をうまく管理することで,ボトルネック の通過を必要としない OD 交通に自由流速度を維持さ せることができれば,集計交通流率を高くする可能性が 期待できる.

4. 交通シミュレーションを用いた有効性検証 本章では, 交通流シミュレーション SOUND⁴⁾を用いた数値解析を行い、前記2路線にする集計 OK を用いた

た数値解析を行い、前記2路線にする集計QKを用いた 流入制御手法の有効性を検証する。

(1) シミュレーション概要

対象ネットワークとシミュレーション時間本検証では、図2、図3に示した阪神高速道路池田線、

神戸線ネットワークを対象とする.密度を管理する対象エリアは,それぞれ空港集約料金所~環状線合流部,神明月見山料金所~摩耶入口までとした.なお,シミュレーション対象時間は朝のピーク時間帯を含む午前5時~午前11時までとした.

· 時間帯別 OD 交通量

全ての起終点ペアについて 1 時間単位の OD 交通量を設定した.設定に際しては,1 時間単位の OD 交通量の実測値が入手困難なため,2008 年 5 月 9 日における各オンランプからの流入交通量に,日 OD 表による目的地別の OD 比率を乗じて求めた.なお,現実には,制御の実施によって長時間オンランプで待たされる場合など,一般街路へ迂回する交通が出現すると考えられるが,本解析では,すべての OD 交通が一般街路へ迂回することなく高速道路を利用するものとした.

・交通容量

各リンクの交通容量は車線数×1,800 (台/h)とした. ただしボトルネックリンクについては観測データに基づいて設定した.

(2) 流入制御アルゴリズム

本流入制御手法においては、エリアの集計交通密度を目標台数 K_c に維持することを目標に、エリアへの流入交通量を調節する. なお、 K_c は観測に基づいて事前に設定する制御パラメータである. また、制御では、単位時間T 毎に交通量を更新する. 制御方法としてはまず、集計交通密度が目標台数 K_c を上回った場合に制御を開始し、以下の式で許容流入交通量を算出する. なお K_c 値は、池田線では600台。神戸線では800台と設定した.

$$N_{l}(t) = q_{l}(t-1) \times \left[\sum_{1 \in B} q_{i}(t-1) \Delta T - \left\{ K(t-1) - K_{c} \right\} - \sum_{i \in A} q_{i}(t-1) \Delta T \right] \times \left[\sum_{i \in B} q_{i}(t-1) \Delta T \right]$$

(1)

 $N_l(t)$: t番目時間帯における制御リンクlの制御交通流率(台h)

 $q_i(t)$: t番目時間帯におけるリンクiの交通流率(台h)

K(t): t 番目時間帯終了時の集計交通密度 (台/エリア)

A: 流入リンクの集合B: 流出リンクの集合C: 制御リンクの集合

制御開始後は,集計交通密度が制御終了台数 K_E を下回った場合に制御を終了する. ただし, K_E は事前に設定するパラメータである.

(3) シミュレーション結果

図6,図7に,各路線における集計QKの状態を制御の有無別に比較する.ただし,両図中のプロットは5分ごとの状態を示す.両路線とも,制御の実施により集計交通密度が最適集計交通密度付近で維持されている.

しかしながら,池田線においては制御を実施しない場合でも集計交通密度は高くなるが流率はほとんど変化しておらず制御の効果を伺うことはできない、一方の神戸線では,制御を実施しない場合に,密度の増加とともに流率が低下しているものの,制御実施により流率が極端に落ちている時間帯があり,制御実施の効果があるとはいえない、表1に各ケースにおける全 OD 交通の総旅行時間を示すが,池田線神戸線ともに制御の実施によって総旅行時間が増加しているとの結果が得られた、なお,同表中の総旅行時間は,制御によってオンランプで待たされている車両の待ち時間も含まれている。これより,路線状ネットワークにおいては集計 QK 制御の実施が逆効果になる可能性があることが確認された。

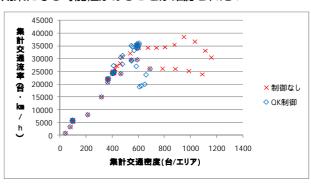


図6 池田線集計QK関係(集計QK制御)

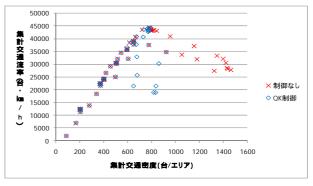


図7 神戸線集計QK関係(集計QK制御)

表1 旅行時間比較(集計QK制御)

	池田線	神戸線	
制御なし	3414	5448	
QK制御	3733	5635	(時間)

5. ボトルネックを対象とした流入制御

本章では、複数ボトルネックを持つ路線状道路ネットワークにおいて、ボトルネックを対象とした流入制御手法(以下"BN 制御")を提案し、同制御手法の有効性を検証する、検証は、前章と同様シミュレーションSOUND⁴を用いて行う。

(1) 提案する流入制御アルゴリズム

提案する制御手法は,各オンランプについて,ランプが取り付いている本線下流部において渋滞が発生している場合に,当該オンランプでの流入交通量を制限し渋滞

の延伸を回避するという手法である.なお,本手法は佐々木らいが提案したLP流入制御を各時間帯別にローカルに実施しているということとほぼ同じである.図8に示す図において,下流リンクが渋滞と判定された際に,式(2)にて次の時間帯におけるオンランプリンクにおける許容流入台数を決定する.この制御手法は,ボトルネック部の交通容量増加は期待できないが,渋滞の延伸を回避し,ボトルネックの通過を必要としないOD交通に自由流速度を維持させる効果を期待することができる.

$$q_o(t+1) = q_d(t) - q_u(t)$$
 (2) ただし

 $q_o(t): t$ 番目時間帯におけるオンランプリンクにおける許容流入台数

 $q_{u}(t): t$ 番目時間帯における下流リンクの交通流量 $q_{u}(t): t$ 番目時間帯における上流リンクの交通流量



図8 オンランプ部

(2) シミュレーション結果

上記の BN 制御を神戸線に適用した際の集計 QK 状態を図9に示す.制御しない場合との比較において,密度が大きい場合にわずかではあるが高い集計交通流率が得られた.表2に示すように,オンランプでの待ち時間も含めた全車両の総旅行時間を比較した場合,制御によって総旅行時間が減少した.すなわち,制御効果を得る可能性があることが示された.旅行時間をエリア内に終点を持つ車両とエリアの最下流端以遠に終点を持つ車両とに分けて旅行時間を比較すると,後者の旅行時間に変動はないが,前者の旅行時間が短縮されていることがわかる.すなわち,渋滞の延伸を防ぐことでボトルネックを通過しない交通の移動をスムーズにするとの本制御による総旅行時間減少のメカニズムが示されている.

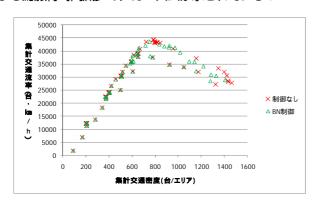


図9 神戸線集計QK関係(BN制御)

表 2 神戸線旅行時間比較

	全車両	エリア内オフランプ利用	エリア外流出	
制御なし	5448	1608	3840	
BN制御	5360	1515	3846	(時間)
				(, 1-0)

6. 終わりに

既往研究により、複数ボトルネックを持ち面的な広がりを持つエリアにおいて、集計 QK を用いた流入制御の実施が交通の流動性向上に大きく貢献する可能性があることが示されているのに対し、本研究では路線状エリアを対象に同流入制御の有効性を検証し、有効に機能しないだけでなく逆効果となる可能性があることを示した・続いて、近視眼的にオンランプ周辺の交通状況に対応して制御を行うボトルネック制御を提案し、同制御が路線状道路ネットワークにおいて有効に機能する可能性があることを示した・これらの知見は、今後多様な道路ネットワークエリアを対象に流入制御を実施する際、適切な制御手法を決定するための指針として有効に活用されることが期待される・

本研究では,シミュレーションを実行するにあたり,一般街路への影響を考慮していない.現実には,高速道路の利用を断念し一般街路へと迂回することが考えられ,一般街路への迂回交通も考慮に入れた分析が必要である.また,集計QKを用いた流入制御を面的な広がりを持つネットワークに適応し,実用化していくためには,制御対象とするオンランプの違いによる制御効果の違いや,本線制御の有無による制御効果の違い等について,より詳細に分析を行うことが必要である.

最後に,本研究をすすめるにあたっては,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. また(株)交通システム研究所の大藤武彦氏,(有)都市未来の土田貴義氏には貴重なご意見ならびにご支援をいただきました.ここに記して謝意を表します.

【参考文献】

- 1) 佐佐木 綱・明神 証:都市高速道路網における流入車 制御理論,交通工学,Vol.3,No.3,pp.8-16,1968.
- 2) 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.
- Geroliminis Nikolas , Daganzo , Carlos F Nikolas : Macroscopic modeling of traffic in cities , 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C..2007.w
- 4) 吉井稔雄・桑原雅夫・森田綽之: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,No1,pp33-41,1995