

高速道路の区間でみた渋滞現象解析

名古屋大学大学院 学生会員 ○稲野 晃

名古屋大学大学院 正会員 中村 英樹

名古屋大学大学院 正会員 内海 泰輔

1. はじめに

わが国では従来から高速道路における設計上の交通容量を一定値として扱ってきた。ところが近年では, Brilon et al.¹⁾, 岡村ら²⁾, Xingら³⁾の研究が明らかにしているように, 実際には広い範囲の交通量で渋滞が発生しており, 交通容量は確率的に変動するものとして捉える考え方が一般的となりつつある。区間内の各地点で交通容量が確率的に変動するため, 本稿の分析対象区間の例が示すように様々な地点がボトルネックとなり得る。そのため, 渋滞はある一定の区間の現象として捉える必要があるが, そのような研究はこれまでのところ見ることはできない。

そこで, 本稿では高速道路における渋滞を, 区間における現象として捉えて分析することを試みた。

2. 分析対象データ

分析には, 東名高速下り岡崎IC～豊田JCT間(約10.5km, 全区間片側2車線)の5器と豊田JCTランプ部の2006年1箇年分の車両感知器データを使用する。図3に, 車両感知器の位置とその周辺の縦断勾配を示す。車両感知器データは, 交通量, 大型車交通量, 平均地点速度が車線別に5分単位で記録されたものである。

なお, 車両感知器は本線上に約2km間隔で設置されているため, ボトルネック(以下, BN)の原因を正確に特定することはできないが, 294KP, 296KP, 298KPはサグ, 300KPは大型図形情報板, 302KPは豊田JCT分流部がBNの原因となっていると推測される。

3. 渋滞現象の抽出

本分析では, 平均地点速度が60km/h以下を5分以上の間下回することを渋滞の発生, その速度低下が起こった地点を発生地点と定義した。このとき, 上流/下流からの待ち行列の延伸による速度低下は除去している。渋滞の60km/hという閾値は, 各車両感知器の交通量-速度関係から主観的に妥当な値であると判断した。また, 渋滞の発生地点から渋滞の先頭が移動しないケースだけでなく, 他地点に移動し, 渋滞の先頭として安定しているケースが数多く見られた。そのため, 渋滞の先頭として安定する地点を定着地点と定義した(ただし, 渋滞継続が15分以上のときに限る)。

表1は, 定着が起こった場合の発生/定着パターン別の頻度である。これより, この区間の渋滞発生は各地点で起こっているものの, その後296KPに定着する傾向があることがわかる。つまり, 発生地点になりやすい箇所と定着地点になりやすい箇所は異なるといえる。

4. 観測された交通容量の分布

ここでは, 発生と定着に関する2つの交通容量を定義する。1つ目が発生に関わる渋滞発生前交通量(Breakdown

表1 発生/定着別の渋滞頻度

		発生地点					計
		294KP	296KP	298KP	300KP	302KP	
定着地点	294KP	46	5	3	1	4	59
	296KP	70	48	9	1	16	159
	298KP	1	1	5		4	11
	300KP				8		8
	302KP					31	33
計		117	54	17	10	55	270

** 発生地点が2地点ある場合

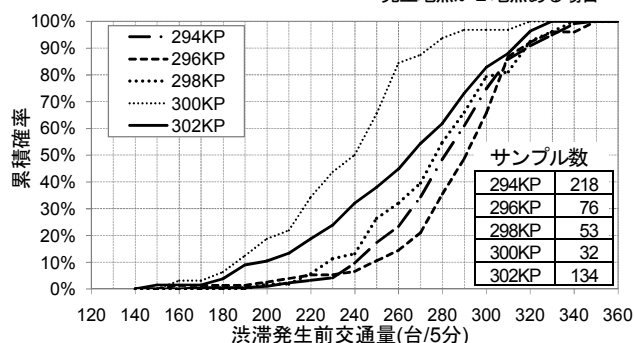


図1 渋滞発生前交通量(Breakdown Flow)の累積分布

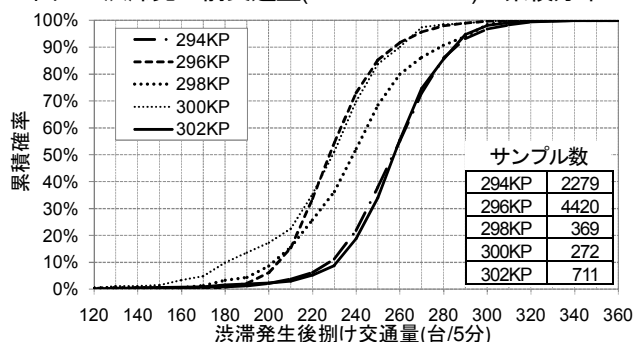


図2 渋滞発生後捌け交通量(Queue Discharge Flow)の累積分布

Flow; BDF)で, 渋滞開始時間の直前の時間間隔の交通量である。図1がその分布である。本稿では, この交通量が渋滞発生の原因になった交通量であると捉える。2つ目が定着に関わる渋滞発生後捌け交通量(Queue Discharge Flow; QDF)で, 渋滞が定着したとき先頭であった地点の5分間交通量である。図2がその分布である。図中のサンプル数は, 年間の渋滞先頭時間に比例する。

2つの図を比較すると, QDFに比べてBDFのほうが広い交通量に分布していることがわかる。筆者ら⁴⁾は, BDFが広く分布する原因について, 平日/休日, 大型車混入率, 車線利用率, 分流率について分析を行っているが, どの要因も明確な影響がなく, この分布の原因が集計量では説明できないミクロな要因(個々の車両挙動や車群形成)によるものであることを確認している。また, 対象地点の中でも分流部(302KP)におけるBDFは, 他地点に比べ分散が明らかに大きいことがわかる。これは, 分流部における独特の車両挙動が影響していると考えられる。

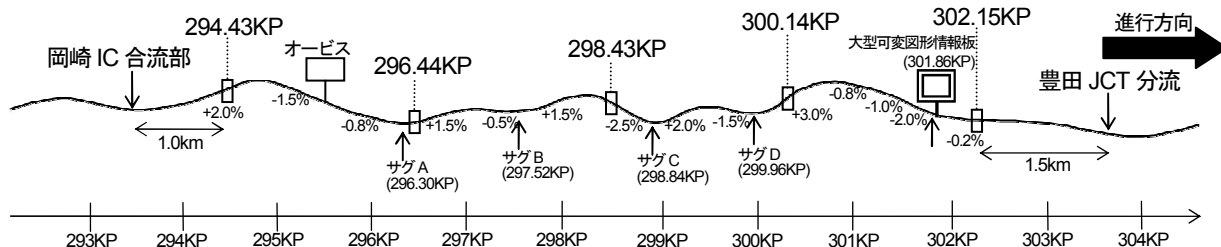


図3 車両感知器の設置位置と縦断勾配

次に、各分布とサンプル数との関係を見ると、QDFの分布では、多くの渋滞が定着し渋滞時間も最長である296KPが2番目に小さくなっている。そのため、QDFが小さいほど定着しやすく、一旦定着すると渋滞流から回復しづらいと地点であるといえる。一方、BDFの分布では、BDFが小さいほど渋滞発生が多いとはいえないことがわかる。このことは、観測されたBDFの分布では、渋滞の発生のしやすさを表現できず、5.で述べるような渋滞発生確率の考え方が必要であることを示唆している。

5. 渋滞発生確率曲線の推定

図1のBDF分布は、渋滞が観測されたときのみの分布である。しかし、同じ交通量であっても渋滞が発生したりしなかったりという確率的な事象を含めたBDF分布を表現するためには、渋滞が発生しなかったときの非渋滞流交通量も分布の算出に含めるべきである。この非渋滞流を考慮したBDF分布は、渋滞発生確率曲線と言い換えると理解し易い。この渋滞発生確率曲線は、非渋滞流を考慮した分だけ観測BDF分布(図1)より右側にシフトすると考えられる。Brilon et al.¹⁾はこの渋滞発生確率曲線を算出するために次の2つの方法を示している。これらの方法はともに非渋滞流のときの交通量は少なくとも交通容量以下であるという情報を用いて算出している。

- **最尤法**：次の尤度を最大化するようなパラメータ推定を行う。ここでは、 $F(q_i)$ にワイブル分布を仮定している。

$$L = \prod_{i=1}^n f(q_i) \delta_i \cdot [1 - F(q_i)]^{1-\delta_i} \quad (1)$$

$f(q_i)$: 渋滞発生前交通量のPDF, $F(q_i)$: 渋滞発生前交通量のCDF, δ_i : 1(渋滞発生の場合), 0(渋滞発生しない場合)

- **Product-Limit Method (PLM法)**：医療の分野などでよく使用される方法で、1から生存確率関数である $S(q)$ を引いたものが渋滞発生確率となる。

$$F(q) = 1 - S(q) = 1 - \prod_{i: q_i \leq q} \frac{k_i - d_i}{k_i} \quad (2)$$

$F(q_i)$: 渋滞発生前交通量のCDF, q : 交通量, k_i : 交通量が q_i 以上の交通量実現頻度, d_i : 交通量 q_i のときの渋滞発生頻度

これらの方法を用いて推定した交通容量分布が図4である。これより、渋滞発生確率曲線が観測BDF分布に比べ右に大きくシフトしていることがわかる。PLM法は最大でも累積確率40%までしか推定できていないが、ワイ

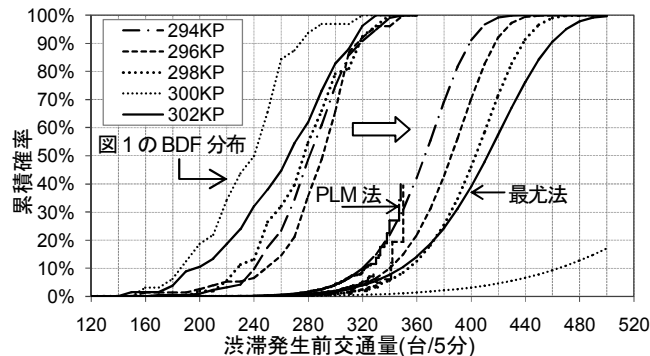


図4 渋滞発生確率曲線

ブル分布を仮定した最尤法とよく合うことがわかる。

6. 区間における渋滞発生確率の推定

5.で推定された各地点の渋滞発生確率曲線は各地点が地点間隔 2km で連続することから、独立ではないと考えられる。もし各地点における交通量を、 $q_1 = q_2 = \dots = q_n (= q)$ のようにある一定の交通需要と仮定すれば、5.において推定された確率 $\hat{P}_n(q)$ は、

$$\hat{P}_n(q) = (1 - P_{n-1}(q)) \cdot P_n(q) \cdot (1 - P_{n+1}(q)) \quad (3)$$

という条件付き確率であると考えられる。そのため、区間内における地点 n の独立な渋滞発生確率を知るためには、この関係式を解いて求める必要がある。

また、地点ごとの独立な渋滞発生確率を使い、次のように区間の渋滞発生確率 $P_{\text{区間}}(q)$ を算出することができる。

$$P_{\text{区間}}(q) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(q)) \quad (4)$$

7. おわりに

本稿では、渋滞の発生と定着を分けて分析し、区間における渋滞現象を明らかにした。また、発生現象に関しては地点ごとの渋滞発生確率から区間における渋滞発生確率を算出する方法について検討を行った。今後は、分析対象地点数を増やし、渋滞発生確率の要因分析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Brilon, W., Geistefeldt, J. and Regler, M.: Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 2005.
- 2) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉 正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(下), 高速道路と自動車, 第44巻, 第3号, pp.30-40, 2001.
- 3) Jian Xing, 佐藤久長, 高橋秀喜, 吉川良一: 高速道路のボトルネック交通容量分布及び渋滞発生確率の推定, 第26回交通工学研究会発表論文報告集, pp.49-52, 2006.
- 4) 稲野晃, 内海泰輔, 中村英樹: ボトルネックが連続する区間における渋滞現象の分析, 第36回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2007.

謝辞

本研究を進めるに際して、貴重なデータを提供いただいた、(株)高速道路総合技術研究所(旧・JH 試験研究所)に感謝します。