

高速道路の車線利用特性に関する微視的考察

中村 圭佑¹・高屋 雄太²・清田 裕太郎³・石田 貴志⁴・野中 康弘⁵

¹正会員 東京都 建設局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)

E-mail:h10061@shibaura-it.ac.jp

²非会員 埼玉県 川越県土整備事務所 (〒350-1126 埼玉県川越市旭町2-13-6)

E-mail:h10051@shibaura-it.ac.jp

³学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 (〒135-8584 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail:me13028@shibaura-it.ac.jp

⁴正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2丁目13-14 マルヤス機械ビル)

E-mail:t_ishida@doro.co.jp

⁵正会員 株式会社道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2丁目13-14 マルヤス機械ビル)

E-mail:y_nonaka@doro.co.jp

わが国の都市間高速道路における交通集中渋滞の多くは上り坂やサグの単路部で発生している。単路部ボトルネックでは交通量が増加すると、追越車線に車両が集中し、走行車線に余裕があるにも拘わらず、追越車線から減速波が発生して交通集中渋滞に至ることが知られている。このような単路部渋滞の解消にむけては、追越車線への過度な交通集中を改善することが必要であり、どのような状態で追越車線への車線変更が多発するかを把握することが重要である。そこで本研究では、片側2車線の高速道路を対象に、車両感知器のパルスデータを用いて個々の走行速度や車頭時間などの観点から、相対的に低速な車両の追越挙動を通して、追越車線に交通量が偏る現象について考察する。

Key Words : *interurban expressway, lane flow distribution, elephant race, moving bottleneck*

1. はじめに

わが国の都市間高速道路における交通集中渋滞の多くは上り坂やサグ、トンネル坑口部等の単路部で発生している。単路部ボトルネックでは交通量が増加すると、追越車線に車両が集中し、渋滞発生直前の追越車線利用率は、片側2車線区間において60%程度、片側3車線区間では50%近くにまで上昇する。これにより、単路部ボトルネックでは走行車線に余裕があるにも拘わらず、追越車線から減速波が発生して交通集中渋滞に至ることが知られている。

このような単路部渋滞の解消に向けては、追越車線への過度な交通集中を改善することが必要であり、どのような状態で追越車線への車線変更が多発するかを把握することが重要である。一方で、交通量と車線利用率の関係や、道路線形あるいは分合流の存在等道路幾何構造と車線利用率との関係性を論じる研究はみられるが、追越車線への車線変更がどのような状態で多発するかについてのミクロな現象を捉えた研究は少ない。

そこで本研究では、片側2車線の高速道路を対象に、車両感知器のパルスデータを用いて個々の走行速度や車頭時間などの観点から追越車線に交通量が偏る現象について考察する。

2. 既往研究のレビュー

越ら^{1)~3)}は単路部の交通集中渋滞(自然渋滞)発生メカニズムについて「交通量が増加するにつれて追越車線を走行する車両が増加し、大きな車群がボトルネックに差し掛かるとアクセル操作が不十分なため速度低下が生じ、後方へショックウェーブとして伝わることで追越車線から発生する」と指摘している。また、渋滞発生前の追越車線利用率は片側2車線区間で60%程度であることを指摘している。栗原ら⁴⁾は交通量が増加するほど走行車線と追越車線の速度差が生じ、速度の高い追越車線に交通量が偏る傾向を示している。王ら⁵⁾は車線利用率対する各種の影響要因について分析した上で、規制速度別に片側2車線と片側3車線区間の車線利用率の推

定式を構築している。その結果、車線利用率には交通量、大型車混入率、縦断勾配、分岐までの距離（分流率）の4変数が影響することを示している。小林ら⁶⁾は交通容量は確率的に変動するという概念に基づいて、交通条件や幾何構造が渋滞発生確率に及ぼす影響について考察しており、サグ部での車線数、トンネル入口、合流部、分流部、縦断勾配差が渋滞発生確率に影響することを示している。

一方、車線利用率の偏りを改善する試みとして、大口ら⁷⁾は付加車線の設置形態と車線利用率の関係を観測に基づいて定量的に分析している。具体的には「内側付加・外側絞り込み」の設置形態によって車線利用率の偏りが是正されることを指摘している。原田ら⁸⁾は渋滞が追越車線から発生することから、片側2車線区間を対象にLED標識を用いて走行車線の利用を促す「車線利用率平準化対策」を実施した結果、より高いフローレートが出現しても渋滞に至らず、渋滞発生を遅らせることができることを明らかにしている。XINGら⁹⁾は3車線区間を対象に同様の対策を実施し、低い交通量レベルでの渋滞発生を抑制することを確認している。

以上のように、車線利用率が追越車線に偏る現象に対する考察と、車線利用率の偏りを是正する試みは多く行われているが、追越車線への車線変更実態について個々の車両挙動に着目した例は少ないことから、本研究ではこの点に着目する。

3. 分析データ

(1) 分析対象地点

本研究では東北自動車道（上り線）の塩谷バスストップ付近を分析対象とする。塩谷バスストップ付近は、縦断勾配が下り 1.45%から上り 0.915%に変化するサグ部に位置し、休日及び交通混雑期を中心に交通集中渋滞が発生している地点である。

(2) パルスデータの概要

本研究では塩谷バスストップ付近に位置する 115kp の車両感知器パルスデータを使用する。パルスデータとは、路面下に埋設されたループ式車両感知器上を車両が通過する際のインダクタンス変化率を捉えたデータであり、これより車両 1 台毎の通過時刻、走行速度、車種（大型小型別）を得ることができる。図-1 の例で解説すると、検知レベルは車両の存在を判断するパラメータであり、実際の車両通過状況にあわせて調整される。走行速度は上流側ループコイルと下流側ループコイルの離隔距離と

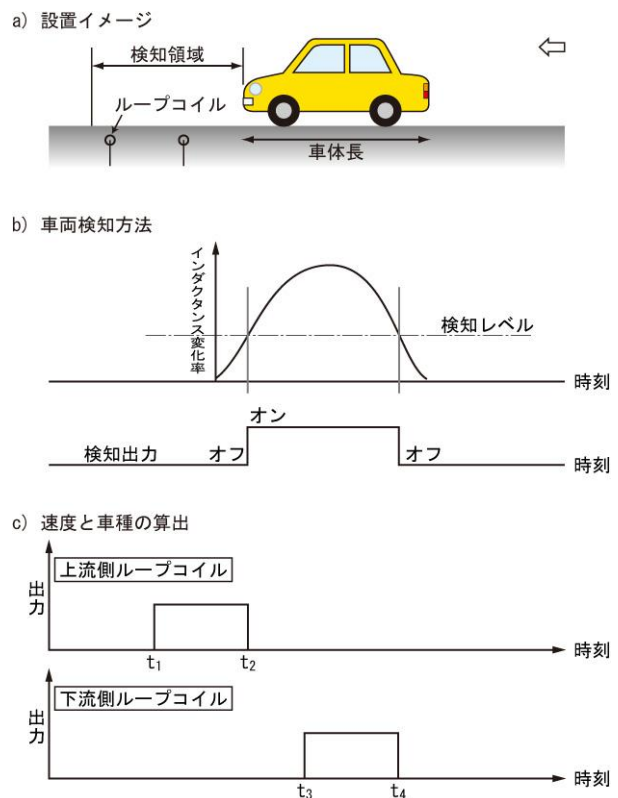


図-1 車両感知器パルスデータの概要

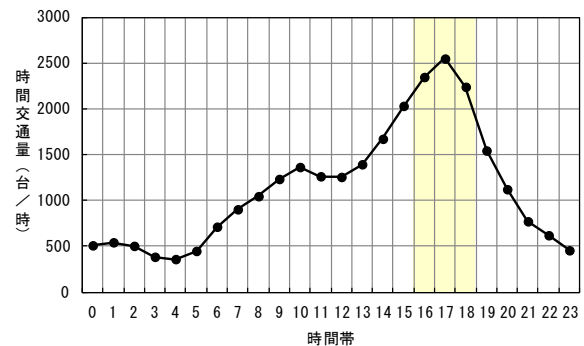


図-2 分析対象日の時間交通量図

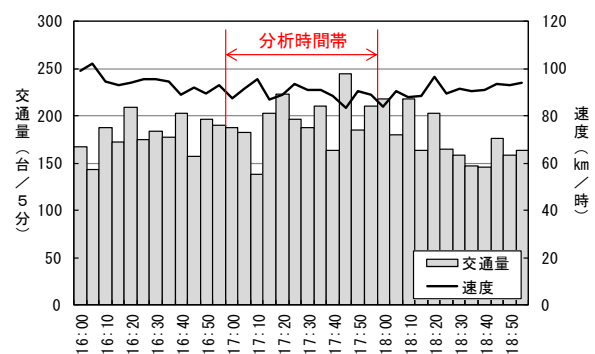


図-3 分析対象日の交通量速度変動図

検知時間差 ($t_3 - t_1$) で算出され、 t_2 と t_3 がラップする場合に大型車と判断される。なお、都市間高速道路では、一般的にパルスデータから車種別の交通量と走行速度を

5 分間ごとに集計して管理している。パルスデータの取得には専用機材を準備して、制御装置にアクセスする必要があるため、常時データを取得できるわけではない。

(3) 分析対象時間帯の選定

分析対象日は、パルスデータが取得できている 2006 年 11 月 3 日（土）とし、分析対象時間帯は 17～18 時とする。分析対象日の交通量概況を図-2 に、分析対象時間帯前後の交通量速度変動図を図-3 示す。図-2 から分析対象日の交通量は 17 時台にピークを迎えている様子がわかる。また、当該地点においてこの日に渋滞が発生していないことを確認している。なお、ピークとなる 17 時台前後 1 時間の交通量速度変動図から、この時間帯の交通量は概ね 200 台/5 分、走行速度は概ね 90km/h であることがわかる。

4. 車線利用状況の分析

(1) 車線利用率（集計分析）

まず、一般的な集計分析として、車線合計交通量と車線利用率の関係を図-4 に示す。図中の赤色着色部は分析対象時間帯の追越車線利用率、青色着色部は走行車線利用率、灰色着色部は分析対象時間外を示す。図-4 から車線合計交通量が少ない時は走行車線利用率が高く、車線合計交通量が増加するに従って、追越車線利用率が増加する、一般的な傾向にあることがわかる。

具体的には、130 台/5 分（1,560 台/時：5 時間フローレート）までは走行車線利用率が高いが、130 台/5 分で逆転し、追越車線利用率が高くなる様子がわかる。また、180 台/5 分（2,160 台/時：5 分間フローレート）で追越車線利用率は 65%程度にまで上昇する。分析時間帯に着目すると、車線合計交通量は広く分布するが、追越車線利用率は概ね 60%前後に位置している。

(2) 車線別走行速度分布

分析対象時間の 17 時台における車線別の走行速度分布を図-5 に示す。走行車線の平均速度は 83.3km/h、追越車線の平均速度は 96.9km/h で、走行車線に対して追越車線のほうが 13.6km/h 高い。また、走行車線の最低速度は 56.0km/h で 60km/h を下回る車両は 6 台（0.68%）存在する。一方で追越車線の最低速度は 67.7km/h で、60km/h を下回る車両は存在しない。

なお、走行車線の平均速度 83.3 km/h を下回る追越車線利用車両は 15%程度存在する。

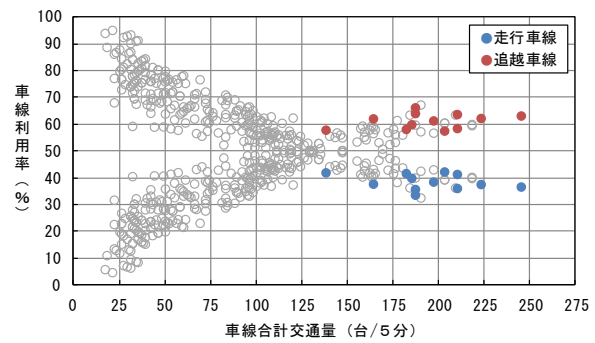


図-4 車線合計交通量と車線利用率の関係（5分間値）

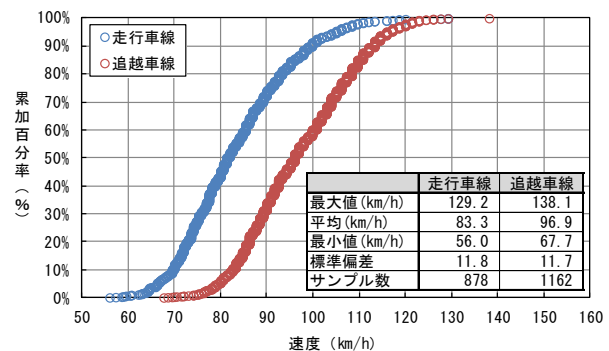


図-5 分析時間帯における車線別速度分布図

(3) 車線別走行速度と車頭時間の出現傾向

分析対象時間の 17 時台における車線別の走行速度と車頭時間を時系列にプロットして図-6 に示す。図-5 に示すように走行車線と追越車線の走行速度はその多くがラップする。すなわち、追越車線の速度が走行車線の速度に対して圧倒的に速いわけではなく、それほど大きな差のないことがわかる。また、走行車線と追越車線のそれぞれの走行速度変動を観察すると、両車線の速度変動の位相に類似性があることが認められる。そこで、次のような仮説を立てる。

- ・走行車線の低速車両を追越すために車線変更する車両は、走行車線の低速車両よりも希望速度が少しだけ高い可能性がある。
- ・したがって、低速車を追越す車両は相対的に低速になりがちになり、高速車を追越す車両は相対的に高速になる可能性が高い。

上記の仮説を定量化するために、各時点における走行車線速度と追越車線速度を比較する。この際、同一時点に比較対象車両が存在しないことが多いことから、比較時点に幅を持たせることにする。比較時間幅を変化させた時の比較サンプルの出現状況を表-1 に示す。1 秒単位で走行車線と追越車線の速度を比較すると、比較可能な対象サンプル数は 9.3% (=336/3,600) にとどまる。同様

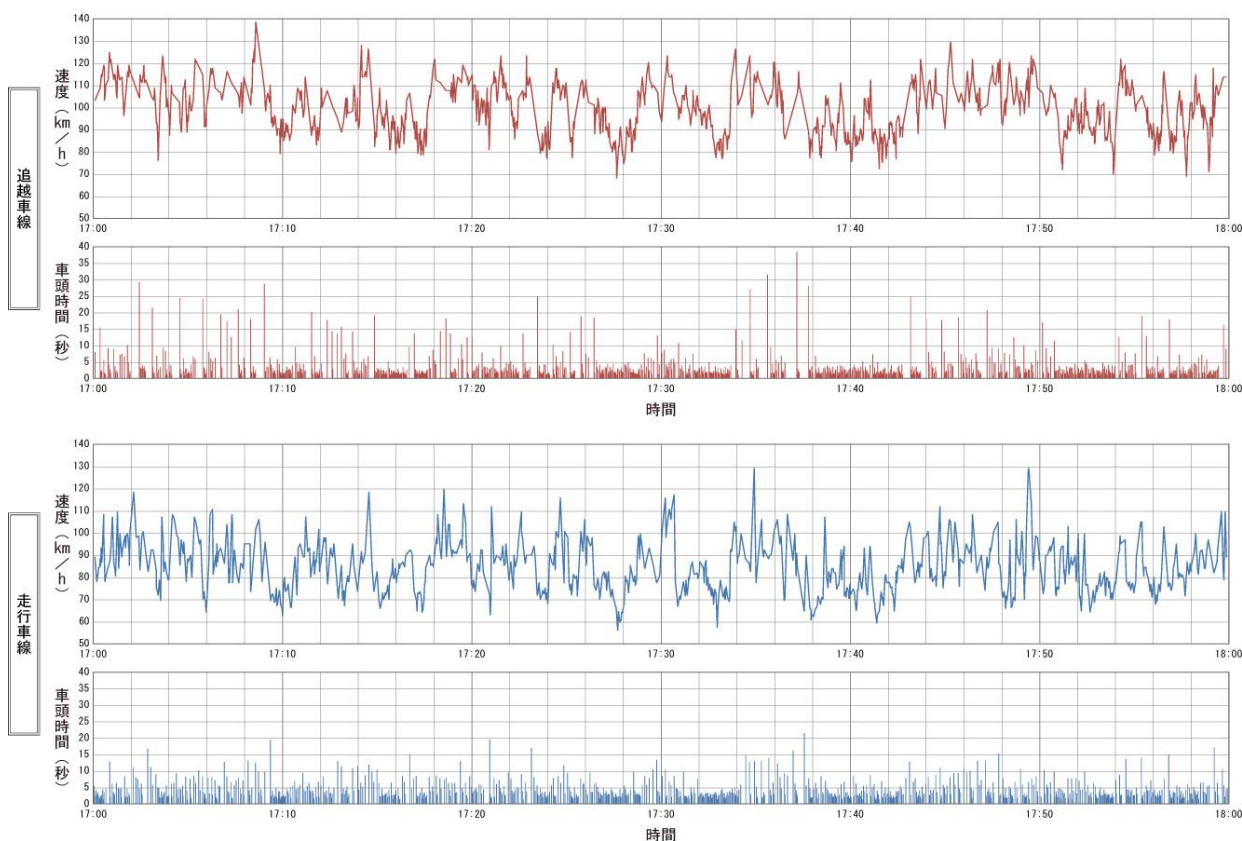


図-6 車線別の走行速度と車頭時間の時系列分布

に2秒で28.2%，3秒で44.5%にとどまる。比較時間幅を10秒まで拡大することで85.0%となり，ほとんどのサンプルが比較対象となり得るが，他の影響を受ける可能性もまた大きくなる。

よって，ここでは比較対象が過半数を確保できる5秒を採用し（64.6%），比較対象車両の前後5秒以内に当該地点を通過した車両同士の平均走行速度を比較する。なお，その他の比較時間幅による比較結果も同様の傾向にあることを確認している。

車線別の走行速度を比較した結果を図-7に示す。図-7から走行車線と追越車線の走行速度には正の相関があり，走行車線の速度が相対的に低い時に，追越車線に走行速度の低い車両が出現する傾向にあることがわかる。

これは Kemer ら¹⁰⁾が記述するところの elephant racing 現象であると考えられる。すなわち，低速車両が走行車線と追越車線の両方を塞ぎながら並走することで，後続に車群ができやすくなるものと考えられる。たとえば，17時27分39秒のケースをみると，走行車線に58.6km/h，追越車線に67.7km/hの車両が存在する。ここで後続車両が100m手前まで接近した時に車線変更を開始し，追越後100m先で車線復帰すると仮定すると，相対速度が9.1km/h（=67.7-58.6）であることから，追越しに要する時間は80秒（=200*3.6/9.1）となり，その距

表-1 比較時間幅と対象サンプル数

車両有無	ピッチ							
	1秒	2秒	3秒	4秒	5秒	10秒	1分	
両車線に存在	336	508	534	506	465	306	60	
走行のみ存在	542	331	207	150	121	43	0	
追越のみ存在	826	459	249	139	81	9	0	
両車線とも無	1896	502	210	105	53	2	0	
合計	3600	1800	1200	900	720	360	60	

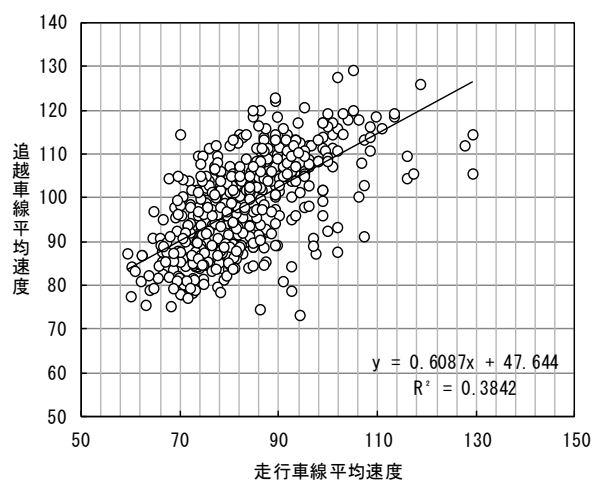


図-7 同一時間通過車両の走行速度比較

離は1,500mに相当する。現時点では，車両感知器パルスデータによる1断面からの考察であるが，このようなメカニズムによって車群が形成されている可能性は高い

ものと考える。

一方で、走行車線をかなり低速で走行する車両が存在し、それを追越そうとする少しか希望速度の速い車両が追越車線に混入する状態は、いわば（移動）車線規制と同じ状態ではないかと考える。Daganzo¹¹⁾ や Laval¹²⁾ は、低速車が後続車を従えて大きな車群を形成し、渋滞に至らしめるような現象について Moving Bottleneck という概念で定義付けている。

このように片側2車線区間にあって、走行車線に著しく低い速度で走行する車両が存在する場合も、移動車線規制のごとく Moving Bottleneck として扱うことで、追越車線の利用率上昇のメカニズムを説明できる可能性があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、片側2車線高速道路において交通量が増加する時に追越車線利用率が増加するプロセスについて、車両感知器パルスデータからアプローチした。その結果、走行車線に低速車が存在する場合、それよりも少しか希望速度の高い車両が追越しのために車線変更することで、追越車線に相対的に遅い車両が混入することになり、これが追越車線の車群形成に影響している可能性があることを示した。しかし、本研究はある1断面に着目した分析にとどまり、時空間的な追越挙動を捉えたものではない。また、走行車線の速度変動と追越車線への車線変更の関係性を定量的にとらえるまでには至っていない。

今後は連続する道路空間において、この現象と追越車群形成プロセスの関係性について検証していくことが必要であると考えられる。また、今回対象としたのは片側2車線区間であるが、現在渋滞が多発している片側3車線区間への展開も必要であると考えられる。

謝辞：本研究にあたり、東日本高速道路（株）より車両感知器パルスデータをご提供いただいた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 越正毅：高速道路トンネルの交通現象，国際交通安全学会誌，Vol.10, No.1, pp32-38, 1984.
- 2) 越正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，Vol.371/IV-5, pp.1-7, 1986.
- 3) 越正毅，桑原雅夫，赤羽弘和：高速道路のトンネル，サグにおける渋滞現象に関する研究，土木学会論文集，Vol.458/IV-18, pp.65-71, 1993.
- 4) 栗原光二，日置洋平：IV車線高速道路の交通実態と交通容量改善策，土木計画学研究・講演集，Vol.17, pp.563-566, 1995.
- 5) 王曦，近藤博之，中村英樹，浅野美帆：都市間高速道路の車線利用率特性に関する分析，第33回交通工学研究発表会論文集，pp113-116, 2013
- 6) 小林正人，中村英樹，浅野美帆，米川英雄；都市間高速道路におけるボトルネック交通容量の確率的特性分析，第31回交通工学研究発表会論文集，pp133-138, 2011
- 7) 大口敬，桑原雅夫，赤羽弘和，渡邊亨：ボトルネック上流における車線利用率の矯正効果と付加車線設置形態，第9回ITSシンポジウム，2010.
- 8) 原田秀一，深瀬正之，前島一幸，佐藤久長，瀬古賢司：車線利用率平準化による高速道路の渋滞対策効果検証，交通工学，Vol.42, No.5, pp74-79, 2007.
- 9) Jian XING, 鶴元史，石田貴志，村松栄嗣：片側3車線区間におけるLED標識を用いた車線利用率平準化渋滞対策の効果検証，第31回交通工学研究発表論文集，pp167-171, 2011.
- 10) Boris S Kerner, Sergey L Klenov : A theory of traffic congestion moving bottlenecks, Journal of Physics A : Mathematical and Theoretical, Vol.43, No.42.
- 11) Carlos F. Daganzo and Jorge A. Laval : Moving bottlenecks : A numerical method that converges in flows, Transportation Research Part B 39, pp855-863, 2005.
- 12) Munoz J. C., and C. F. Daganzo : Moving Bottlenecks : A Theory Grounded on Experimental Observation. In 15th International Symposium on transportation and Traffic Theory (M. A. P. Taylor, ed.) , Pergamon-Elsevier, Oxford, United Kingdom, pp. 441-462. 2002.

MICROSCOPIC STUDY OF LANE FLOW DISTRIBUTION CHARACTERISTICS ON INTERURBAN EXPRESSWAY

Keisuke NAKAMURA, Yuta TAKAYA, Yutaro KIYOTA,
Takashi ISHIDA and Yasuhiro NONAKA