

車両検知器データによる 交通容量の長期変動モニタリング

村上 友基¹・井料 隆雅²・中田 諒³・萩原 武司⁴

¹学生会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:152t142t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:iryoy@kobe-u.ac.jp

³正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）
E-mail:ryo-nakata@hanshin-exp.co.jp

⁴正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）
E-mail:takeshi-hagihara@hanshin-exp.co.jp

車両検知器データにより得られた長期の交通量データを用い、都市高速本線上の交通容量の10年程度の長期にわたる経年変化を評価する。交通容量は道路管理において最も重要な指標のひとつである。交通容量は道路の幾何構造のような長期的に一定な要因のほかに、車両やドライバーの特性のような経年変化しうな要因にも依存して決定する。このことは交通容量そのものも経年変化する可能性があることを示唆する。2003年3月から2014年6月までに阪神高速道路の車両検知器により観測された地点別の交通量と速度のデータを用い、各地点での交通容量の経年変化を推定した。容量はDrakeらの式にあてはめることにより推定したほか、1時間あたりの実績最大交通量の各暦年での99パーセンタイル値もあわせて確認した。複数の地点で経年変化を推定した結果、多くの地点で交通容量が減少しているようであることがわかった。

Key Words : traffic volume, traffic capacity, long-term observation, fundamental diagram

1. はじめに

車両検知器などで観測された高速道路の交通流データを長期にわたって蓄積しそれを分析することによって、高速道路の利用実態がどのように変動しているかがわかる。そのような分析は過去に複数のものが行われている。初期の例としては、飯田、高山により初めて高速道路の長期的な分析を行ったもの¹⁾がある。その後、都市高速道路において、車両検知器（感知器）を用いた交通量の変動分析が複数行われている^{2,3)}。最近ではETCデータによるETC-OD交通量の変動も解析されている⁴⁾。

これらの研究は交通量の変動を需要（利用者数）の変動とみなして分析している。一方で、交通容量は交通需要ほど激しく変動するものとはあまり考えられておらず、交通容量の変動を交通流データから分析しようとする研究は需要に関する研究ほどは存在しない。しかし実際には交通容量の変動も存在する。交通容量が状況により変わることを指摘した研究としては越ら⁵⁾のものが早期か

ら知られているほか、降水時の容量低下を示した研究⁶⁾、複数年にわたる交通流データより、日没時に交通容量が低下することを指摘した研究もある^{10,11)}。

上述の既存研究で示された交通容量の変化は環境の変化や季節変動によるものだが、それ以外にも車両の性能やドライバーの運転挙動が長期的に変化することによって、ベースとなる交通容量が変動する可能性もありうる。しかし、このような変動は短期的に発生するものではなく、かなり長期間にわたる継続的な交通流の観測データを用いない限り分析することは難しい。一方で、近年の情報技術の進展はそのような長期的なデータの解析をより容易にしている、さらに、データそのものについても、阪神高速道路では、2003年より運用されているデータウェアハウスにより車両検知器により得られた交通流データが10年以上の長期にわたって継続的に蓄積されている¹²⁾。これらの状況は、10年という長期的なスパンにおける交通流の状態の変動を分析することを可能にしている。

本研究では、阪神高速道路の特定の分析対象区間にお

いて長期にわたって蓄積された車両検知器データを用いて、長期的な交通流の状態の経年変化をモニタリングした結果を示す。この結果を基本ダイアグラム（QK図）を用いて分析し、その結果から、交通容量が長期的にどのように変化しているかを示し、その原因を考察する。

2. 分析対象

(1) 分析対象の路線と期間

阪神高速道路3号神戸線上りを対象とし、区間としては35.5KP地点の湊川JCT先から18.0KP地点の芦屋入口手前までを用いる。図-1に対象区間を示す。分析対象期間は2003年3月1日から2014年6月30日の4,130日間（約11年3ヶ月）である。分析対象期間は暦年で区切ってグループ化し分析する。このため、2003年と2014年は分析対象となる日数が他の年に比べて少なくなっている。

(2) 分析対象データの特性

分析対象路線の車両検知器により5分間隔で集計された交通量と交通密度を1時間単位で平均して用いる。交通密度は5分間隔で集計された交通量を平均速度で除した値を1時間単位で平均して算出する。エラーや欠損値は平均値の計算からはずした。交通量は時間交通量に単位を変換して用いる。車両検知器は速度を直接測定することはできないため、平均車両速度は、車両占有時間とあらかじめ平均的な値として仮定された平均車両長を用いて推定されている。平均車両長の値は分析期間全体にわたって同一である。車両検知器には本線上において両車線に設置されているものと追い越し車線にしか設置されていないものが存在する。本研究の分析では追い越し車線の車両検知器のデータのみを用いる。対象区間本線の追い越し車線には計35基の検知器が設置されている。

3. 分析手法

車両検知器より得られた交通量と速度のデータから各地点での交通容量を推定するための手法として、本研究では2つの手法を用いる。1つは基本ダイアグラムをプロットし、それに曲線（ドレイクラにより提案された式¹³⁾をあてはめ、その式のパラメータから容量を推定する方法である。もうひとつは、観測された時間交通量の99パーセンタイル値を暦年ごとに取得し、そのまま容量と見なししてしまう方法である（この値は、年間でおおむね88番目の時間交通量に相当する）。これらの値を期間中の年ごとおよび地点ごとに計算し、それがどのように経年変化しているかを確認する。以下、各節にて各手法の詳細と2つの手法の手法の長所と短所の比較を述べる。

(1) ドレイクラの式による分析手法

速度と密度の関係式として知られるドレイクラの式¹³⁾を用いてパラメータを推定し、そのパラメータから交通量を推定する。ドレイクラの式は、

$$v = v_f \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_0}\right)^2\right] \quad (1)$$

v : 速度

k : 密度

v_f : 自由速度

k_0 : 臨界密度

と表される。式(1)の関係式を変形すれば、交通量と密度の関係式として

$$q = k \cdot v_f \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_0}\right)^2\right] \quad (2)$$

を導出できる。パラメータ推定は暦年ごとのデータを用いて行う。推定の際には、両辺の対数をとった線形式

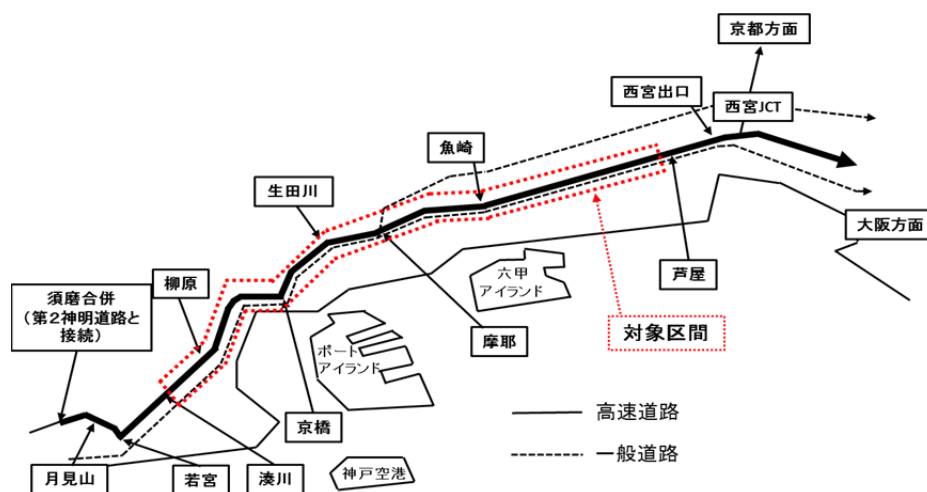


図-1 対象区間

$$\begin{aligned}
 y &= \beta_1 x + \beta_0 \\
 y &= \ln(v) \\
 x &= k^2 \\
 \beta_0 &= \ln(v_f) \\
 \beta_1 &= -\frac{1}{2k_0^2}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

を用いて最小二乗法によるあてはめを行う⁷⁾。

(2) 実績最大交通量を用いた分析手法

観測された時間交通量の99パーセンタイル値を暦年ごとに取得し、それを年ごとの実績最大交通量みなす。真に最大の時間交通量そのものを用いずに上位1パーセントを除外するのは、異常値の影響を緩和するためである。車両検知器が設置された地点において、臨界密度付近の交通流が定常的に実現していれば、実績最大交通量は交通容量（捌け量の最大値）とみなすことができる。

(3) 時系列の分析手法

(1)のドレイクの式による方法、(2)の実績最大交通量による方法、いずれでの方法も、各観測地点について暦年ごとの交通容量の推定値を12年分出力する。12年分の交通容量の経年変化を調べるために、各年の交通容量を被説明変数、年を説明変数とする線形式に推定された交通容量の値をあてはめ、その線形式の傾きを95%信頼区間の誤差つきで評価する。この傾きは1年あたりの交通容量の増減を示す値になる。その結果を各地点のキロポストを横軸とした折れ線グラフで示し、地点による経年変化の差異を視覚的に確認する。

(4) ドレイクの式による方法と、実績最大交通量による方法の長所および短所の比較

(1)で提案したドレイクの式による方法には、観測地点において臨界密度が達成されることがなかつたとしても、式の当てはめにより当該地点の交通容量の推定値を算出することが可能である、という長所がある。ただし、この長所は、当然ながらドレイクの式がどれだけ実際の基本ダイアグラムに適合するかの度合いに依存する。また、基本ダイアグラム全体としてよく適合しても、臨界密度付近で適合が悪く、結果として容量の推定値が不正確になることもありうる。

一方で、実績最大交通量による方法は、観測地点で臨界密度付近の交通流が定常的に実現していれば、最大捌け量をかなり精度よく出力することが期待できる。逆に、そのような地点でなければ、この方法は交通容量をかなり低く見積もる可能性もある。見積もられる値は、観測地点の近くにボトルネックがあればそのボトルネックの交通容量を反映する。そうでない場合は、単に当該地点へ流入する交通需要の多寡を反映するに過ぎなく（すなわち、交通容量を反映しなく）になってしまうことに留意すべきである。

4. 分析結果

車両検知器データにより描かれる基本ダイアグラムにドレイクの式を当てはめたものを、19.9KPと30.4KPの2つの地点を例として図-2に示す。プロットされた点は1時間ごとの実測値である。同一の状態が多数観測された点はより赤い色で、そうでない点はより青い色で示した。赤い線はドレイクの式による密度—交通量関係（式

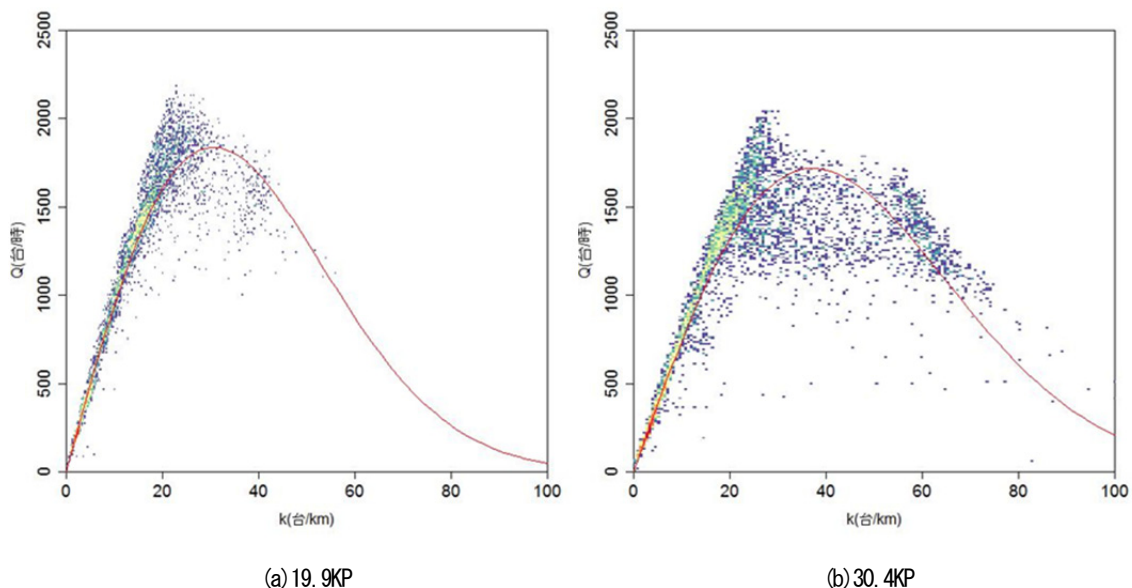


図-2 実測値とドレイクの式によりあてはめた交通量-密度関係の比較

(2) を観測データに当てはめて得た曲線である。

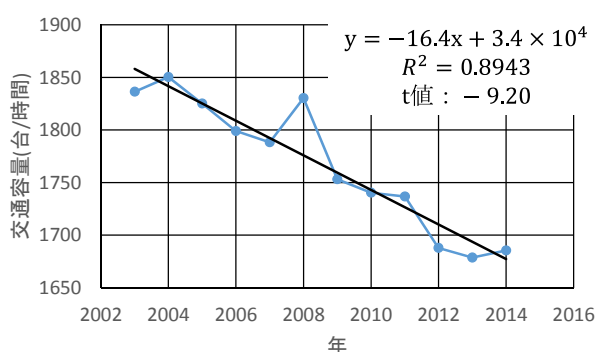
同じ2地点において、ドレイクの式で推計した交通容量の12年分の経年変化を図-3に示した。この図には、線形式へあてはめた際の係数（傾き）の推定値とそのt値をあわせて記入している。すべての地点（35地点）における係数の推定値を図-4に示した。誤差棒は95%信頼区間を示している。

上記と同様に、同じ2地点において、実績最大交通量により推計した交通容量の12年分の経年変化を図-5に示し、すべての地点（35地点）における係数の推定値を図-6に示した。同様に、誤差棒は95%信頼区間を示している。

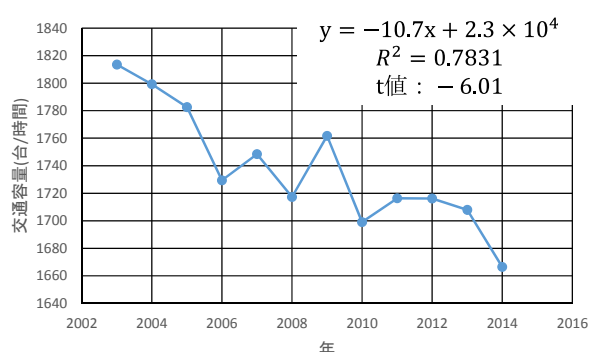
ドレイクの式により密度—交通量関係曲線を推計し

た図-2の結果を見ると、推計された曲線は、臨界密度付近において交通量を実測値よりもやや低く推定していることがわかる。このことは、図-3と図-5で示される各方法の交通容量の推定値に差があることからわかる。

図-4と図-6を見ると、各地点において推計された交通容量の年あたり変化量はいずれの方法でも大きくはかわらないことがわかる。この比較を容易にするために、図-4と図-6の折れ線部分だけを再掲し重ねたグラフを図-7に示す。ごく一部の地点を除き、いずれの方法でも1年でおおむね10台/時ほど減少している。分析対象期間全体では100台/時間程度の減少となる。



(a) 19.9KP



(b) 30.4KP

図-3 ドレイクの式で推計した2つの地点での交通容量の変動

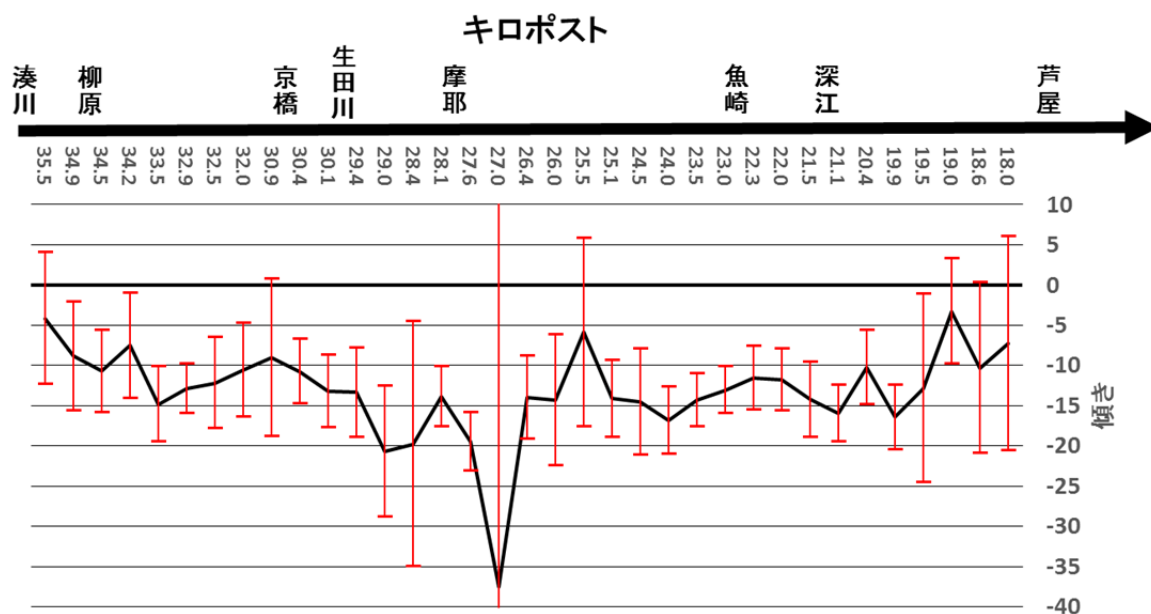
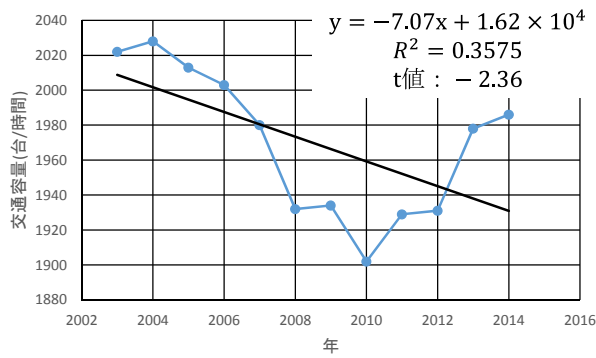
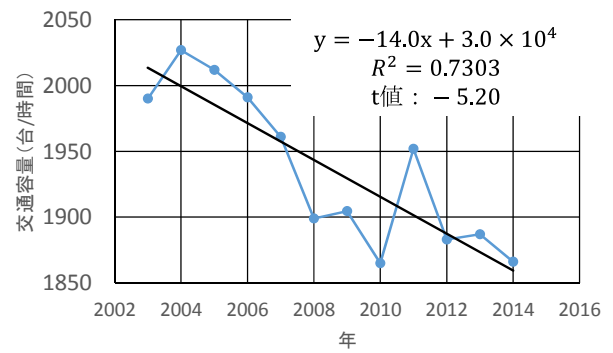


図-4 ドレイクの式による対象区間の交通容量変動の推計結果



(a) 19. 9KP



(b) 30. 4KP

図-5 実績最大交通量による交通容量の変動

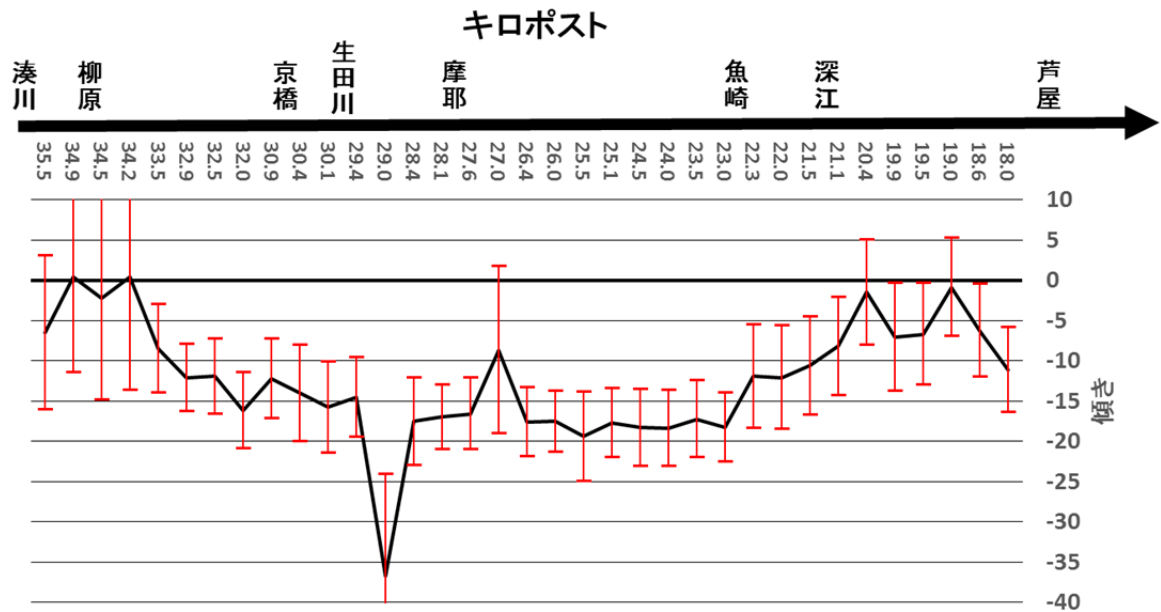


図-6 実績最大交通量による対象区間の交通容量変動の推計結果

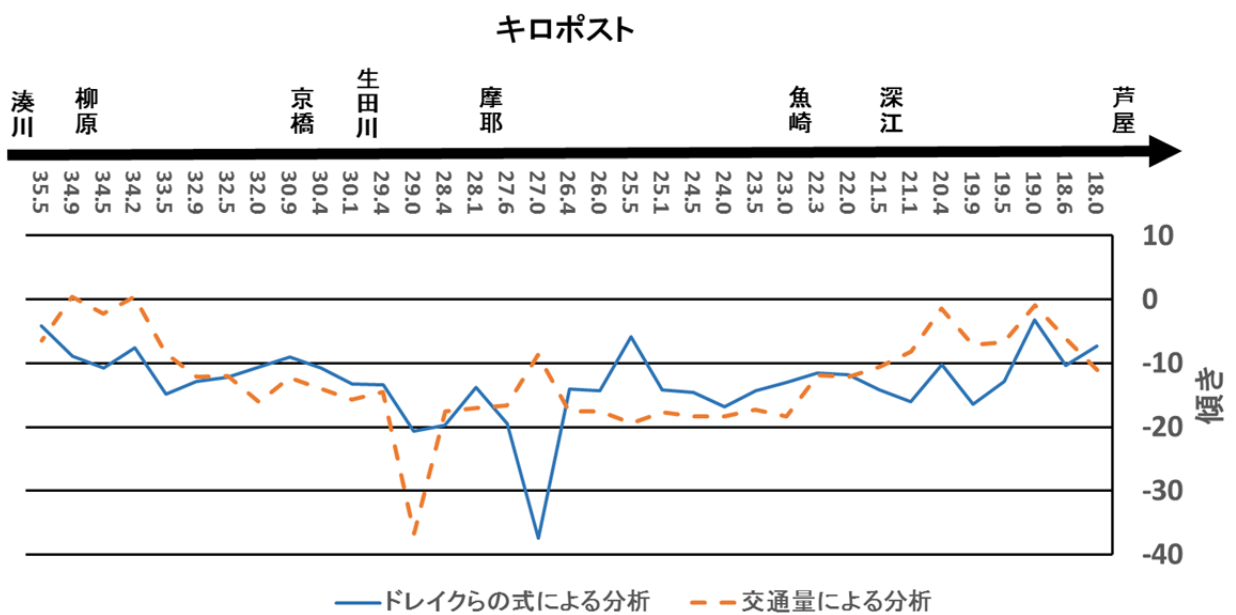


図-7 2種類の推計手法による交通容量の経年変化の推計量の比較

5. 考察と今後の課題

本研究では車両検知器で10年以上の長期にわたって観測された交通量データを用い、分析対象区間で交通容量がどのように経年変化しているかを調べた。交通容量の推定に2つの異なる方法を用いたところ、いずれの方法においても、1年あたりで概ね10台/時程度の容量低下が多く、の地点で見られた。

結果の原因を考察するにあたり、まず検討しなくてはならないのは、車両検知器が取得する観測値の系統誤差が経年変化した可能性である。特に、速度およびそれから算出される交通密度は、あらかじめ設定された平均車両長に依存して決まるため、走行車両の車種の形状の特性に経年変化があると、交通流の実態に関わらずこれらの値に経年変化が出る。ただし、今回用いた2つの方法においては、交通密度の経年的な変動は推計される交通容量に影響を与えないため、平均車長の変化による影響は考慮しなくてもよい。一方で、車種の変化は車両検知器でカウントされる台数の精度に影響を与える。この問題を検証するには、車両検知器と他の手段の双方で断面交通量が長期的に観測されている地点での交通量の変動の比較が有効であろう。

本研究では大型車の交通量の補正を行っていないため、大型車混入率の変化は原因の一つとなりうる。大型車混入率の変化は、PCU (Passenger Car Unit) を用いない台数ベースでの評価に影響するだけでなく、運転挙動への影響もあるだろう。ただし、当該区間の大型車（高車）混入率の変化は分析期間にわたって1%程度であった。

上述したもの以外に原因を求めるとなると、ドライバーの運転挙動の変化、あるいは車両の性能の変化により交通容量が変化したことを考えることになる。車両検知器のデータはあくまでもマクロな集計データであり、ミクロなドライバーの運転挙動の変化を直接確認することはできない。しかし、本研究で明らかになった経年変化をほかの理由で説明できなければ、個々の車両の走行特性の変化がこのような容量低下をもたらしている可能性もある。このことは、道路のパフォーマンスが経年的にどう変わるかを予測するという点に限らず、今後、道路を効率的に活用するためにどのような方策が有効化を考察するという面からもより詳細な検証が求められるといえよう。

参考文献

- 1) 飯田恭敬, 高山純一: 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路調査会, 高速道路と自動車 24(12), pp. 22-32, 1981.
- 2) 村上康紀, 吉井稔雄, 桑原雅夫: 都市高速道路におけるOD交通量の日変動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 22(2), pp. 251-254, 1999.
- 3) 井料隆雅, 岩谷愛理, 朝倉康夫: 都市高速道路における時間帯別流入交通量の週変動, 第27回交通工学研究会発表会論文報告書, 2007.
- 4) 金進英, 宇野伸宏, 倉内文孝, 吉村敏志, 萩原武司: 阪神高速道路における時間帯別ランプ間OD交通量の変動分析, 土木計画学研究・講演集, 39, CD-ROM (4 pages), 2009.
- 5) 小池真実, 井料隆雅, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 時間帯別料金割引制度が交通量パターンに与える影響の実証分析, 第29回交通工学研究会発表会, 交通工学研究会発表会論文報告会, 29, pp. 229-232, 2009.
- 6) 上田大樹, 井料隆雅, 朝倉康夫: 長期ETC統計データによる異なるランプ間OD交通量と旅行時間の相関分析, 交通工学, 49, No. 3, pp. 3-52, 2014.
- 7) 西内裕品, Marc MISKA, 桑原雅夫, 割田博, 観測時間の集約とOD交通量の分布形の関係に関する基礎研究, 土木計画学研究講演集, 2010.
- 8) 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, No. 458/IV-18, pp. 65-71, 1993.
- 9) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田緯之: 首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析, 土木計画学研究・講演集, 29, 2004.
- 10) Kuskabe, T., Iryo, T. and Asakura, Y.: Capacity Reduction and Its Seasonal Change at a Bottleneck on an Urban Expressway during Sunset, *Proceedings of the 11th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, pp. 679-687, 2006.
- 11) 日下部貴彦, 井料隆雅, 朝倉康夫: 車両検知器データを用いた交通流可視化技術の開発, 交通工学, 43(5), 59-68, 2008.
- 12) 田名部淳, 大窪剛文, 松尾武: 交通管制データウェアハウスの構築と今後の展開, 土木計画学研究・講演集, 27, CD-ROM (4 pages), 2003.
- 13) Drake, J., May, A.D., and Schofer, J.L.: A Statical Analysis of Speed Density Hypotheses, *Highway Research Record*, Vol. 154, pp. 53-87, 1967.