

首都高速道路における個別車両ベースの自由流速度の分布特性*

Distribution Characteristics of Individual Free-Flow Speeds on Tokyo Metropolitan Expressway*

洪性俊**・割田博***・桑原雅夫****

By Sungjoon HONG**・Hiroshi WARITA***・Masao KUWAHARA****

1. はじめに

ETC データは有料道路の個別利用者に関する入口・出口、その通過時刻、車種などの正確な情報があるため、近年、これを活用した研究が増えている。特に、最近では ETC ユーザーが大幅に増加し、2008 年 4 月の段階では首都高速道路（以下、首都高）利用者の 8 割以上が ETC を利用しており¹⁾、ETC データの活用性はさらに高まっている。

ETC データに記録されている出入口の通過時刻から計算される当該 OD の旅行時間に OD 間距離の情報を加えれば各データにおける旅行速度が分かる。これに車種・OD・天候の情報を加えることで、車種別・OD 別・天候別の旅行速度が分析できる。このような分析は各種交通シミュレーションにおいて活用できるものと考えられるが、一般に車両感知器（以下、感知器）データからは車種別の速度分布は分析できず、特に個別車両でなくある単位時間・区間（場所）で集計された平均速度しか分からない。なお、個別車両の速度を調べるためにはビデオ観測などの手法があるが、経済性等の問題により多くのデータの収集は簡単ではない。

以上のような背景の下、本研究では首都高の ETC データを利用し、都市高速道路の自由流状態における速度（以下、自由流速度）の分布特性について分析する。具体的には、車種別・時間雨量別の自由流速度の分布、利用者別の自由流速度分布、過去の同 OD 利用回数と自由流速度との関係、OD 間距離と自由流速度との関係について分析を行う。

2. 利用データ・分析対象

(1) 利用データの概要

分析には首都高速道路株式会社より提供を受けた ETC データと車両感知器データ、気象庁が公開している時間雨量データを利用した。

a) ETC データ

入手した ETC データに利用者の個人情報はない。ただし、各利用者は固有の ID として記録されているので、ある利用者のみを対象にした分析は可能である。

b) 車両感知器データ

本研究で用いた感知器データは約 300 m 間隔で設置されている感知器からのデータを首都高の管理区間別に集計した区間データであり、当該区間の交通量、平均速度、占有率、渋滞情報が 5 分単位で集計されている。

c) 時間雨量データ

降雨による自由流速度への影響を排除、またはその影響を分析するために、気象庁ホームページに公開されている時間雨量（東京、北緯 35.69° 東経 139.76°）を利用した。このデータは 0.5 mm 単位で集計されており、時間雨量が 0.5 mm に達していないが降雨は観測された場合は 0 mm として記録され、非降雨時とは区別されている。このような状態を本研究では「Wet」と定義する。なお、分析では時間雨量を 1 mm 単位でグループ化したものを用いる。

(2) 分析対象 OD・期間

対象 OD の選定条件としては、OD 交通量が十分に多く、距離が短いこととした。これは距離が長いとボトルネックや線形条件などの様々な影響要因が含まれるためである。以上の条件より、本研究で選定した対象 OD を

表-1 分析対象 OD

	入口	出口	路線	距離
OD1	池尻	東名道	3号渋谷線（下）	5.99 km
OD2	永福	中央道	4号新宿線（下）	2.95 km
OD3~ OD14	各入口 ¹⁾	東北道	「3号上→C1外→5号下 →C2外→S1下」 ²⁾	—

¹⁾ 新郷、足立入谷、鹿浜橋、王子北、高松、東池袋、飯田橋、霞が関、高樹町、渋谷、三軒茶屋、用賀本線料金所の 12 箇所
²⁾ 3号渋谷線（上り）→都心環状線外回り→5号池袋線（下り）
→中央環状線外回り→高速川口線（下り）

*キーワードズ：自由走行速度、降雨量、ETC

**正員、博(工)、東京大学生産技術研究所
(東京都目黒区駒場 4-6-1, TEL: 03-5452-6419
, Email: mrhong@iis.u-tokyo.ac.jp)

***正員、博(工)、首都高速道路株式会社
(東京都千代田区霞が関 1-4-1, TEL: 03-3539-9389
, Email: h.warita1116@shutoko.jp)

***正員、PhD、東京大学生産技術研究所
(東京都目黒区駒場 4-6-1, TEL: 03-5452-6419
, Email: kuwahara@iis.u-tokyo.ac.jp)

表-1に示す。ただし、OD3~OD14はOD間距離と旅行速度との関係を分析するために、参考として選定したODである。OD3~OD14の出口は全て東北道への入口(川口JCT)と設定した。12箇所の入口は表-1に示した経路上の入口であり、3号線・都心環状線から東北道への経路は他にもあるが、本研究では最短経路である表-1の経路を利用するものと仮定した。

分析対象時間帯は、通常の首都高の交通事情を考慮し、自由走行状態が現れると考えられる深夜時間から日出前までの「0時~4時」とする。分析期間は「2006年6月24日~2007年3月31日」であり、同期間中に首都高におけるETC利用率は71.3%である¹⁾。

3. 分析データの作成

本研究のためには自由走行状態で記録されたETCデータのみを抽出しなければならない。なお、走行距離と自由走行速度との関係を調べるためには区間による線形条件等を排除する必要がある。以下に、その方法について説明する。

(1) 標準旅行速度

本研究では、ETCデータの入口通過時刻を基準として、入口から出口までの「感知器データによる走行軌跡所要時間²⁾」とOD間距離から算定した旅行速度を標準旅行速度(以下、STS)と定義する。すなわち、通過する全ての区間を各区間の平均速度で走行した場合に予想される旅行速度である。STSには道路線形のような各種影響要因が反映されているので、これとETCデータからの実旅行速度との差を分析に用いれば、線形条件の異なる区間・経路における旅行時間を比較することができると考えられる。

(2) 自由流速度の抽出

本研究では新井ら³⁾が利用した条件を参考に、以下のような自由流条件を適用した。

- ・ 5分間交通量: 「40台/5分/車線」以下
- ・ 5分間平均速度: 「50km/h」以上
- ・ 事故、故障車両、工事などの異常状態なし

すなわち、本研究における自由流速度は、STSの算定で用いた感知器データ(区間データ)が全ての区間において自由流状態の条件を満たす場合のETCデータからの旅行速度である。

(3) データクレンジング

以上の手法によって得られるデータには非常に長い旅行時間(低い旅行速度)を示すデータが存在する。その要因は明らかでないが、PAでの休憩などが考えられる。

このようなデータを削除するため、本研究では車種・降雨量・OD別に外れ値を設定して削除した。ここで外れ値とは、データの25%タイル値と75%タイル値の範囲からその範囲の長さの1.5倍以上に離れたデータとして定義される。

4. 分析結果

(1) 車種別の自由流速度の分布特性

ETCデータには詳細な車種情報があるが、本研究では大きく「普通車」と「大型車」に分けて分析を行う。このような車種区分は首都高の料金徴収の対象となる車種区分と同様であり、大まかな大型車の基準は、定員30人以上、積載量5トン以上、または総重量8トン以上である。

図-1は非降雨時における速度を車種別に分けて作成したものである。ただし、OD1の大型車についてはデータ数が少なく(13個)、分析はできなかった。

図-1の(a)と(b)は、それぞれOD1とOD2における非降雨時の普通車の自由流速度分布である。平均と標準偏差はOD2の方が若干高くなっている。分布の形は正規分布に近いが、厳密には左に偏っており、Kolmogorov-Smirnov検定の結果によれば、その分布は正規分布とはいえない。

図-1(c)はOD2における大型車の自由流速度の分布である。この場合は不規則的な分布の形を示しており、2つ以上の母集団からのデータが混在しているように見える。その原因としては、大型車の積載状況、詳細な車種による車両性能の差などが考えられる。

OD2における普通車と大型車の自由流速度の平均はそれぞれ87.8km/hと76.9km/h、標準偏差は9.92km/hと6.94

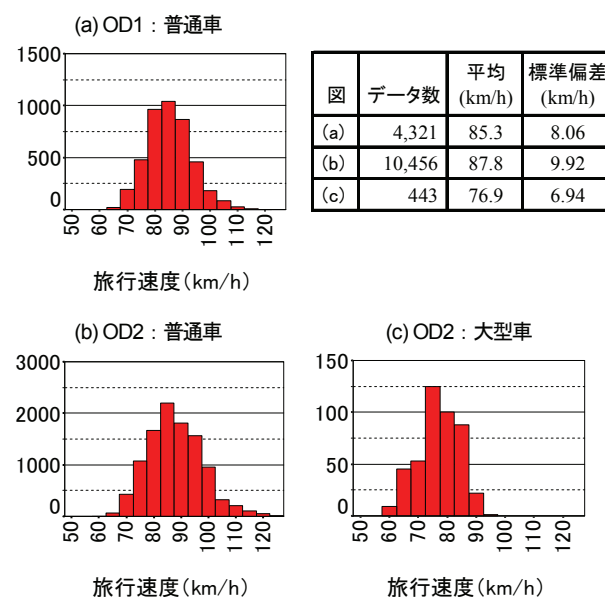


図-1 非降雨時における車種別の自由流速度の分布

6.94 km/h である。大型車の平均は 10 km/h 以上小さいが、同区間における制限速度が 60 km/h であることを考慮すると、深夜の自由流状態における大型車を含めた首都高利用者はかなりの速度で走行していることが分かる。

(2) 降雨量別の自由流速度の分布特性

図-2はOD2における車種別・時間雨量別の自由流速度の分布を示す。前節で示したように大型車より普通車の自由流速度の平均及びばらつきは大きい。なお、時間雨量の増加に伴う速度低下は明確である。しかし、中央値の場合、時間雨量が 1mm 以下ではほとんど変動しない。都市間高速道路を対象に車線別の 85% タイル速度と降雨量との関係を調べた Hong・Oguchi⁴⁾の研究では、非降雨時から降雨量 1mm に降雨条件が変化する際の速度低下が最も大きく、それ以降は降雨量の増加につれて速度は低下するものの、その低下率は小さくなる結果が得られている。ところが、図-2の場合、普通車の 85% タイル速度は降雨条件によってあまり変動しない。Hong・Oguchiの結果とは異なるように見えるが、図-2における最大値は時間雨量の増加によって敏感に低下している。都市間高速道路における 85% タイル速度が図-2の最大値レベルであることを考慮すれば、本研究では類似する結果が得られたものと考えられる。一方、大型車の 85% タイル速度は降雨量によってほとんど変動しない。

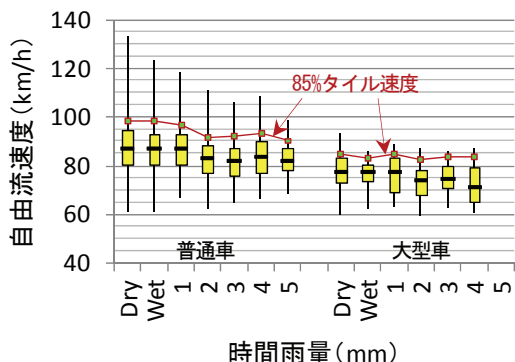


図-2 OD2 (永福→中央道)における自由流速度の車種別・時間雨量別の分布

(3) 個人 ID 別の自由流速度の分布特性

ここでは特定利用者の自由流速度分布を調べる。ただし、分析期間中において OD1 または OD2 の利用者の約 6 割以上は 1 回のみ利用頻度を示し、1~2 回利用した利用者は OD1 の場合 94%、OD2 の場合 85% を占めている (図-3)。これは他の OD においても概ね同様である。したがって、ここでは多数の利用回数を示したいくつかの利用者が選択した自由流速度について調べる。

表-2はOD1とOD2において分析期間中及び非降雨時の利用回数が上位5位以内の利用者の自由流速度についてまとめたものである。この表に示してある利用者の

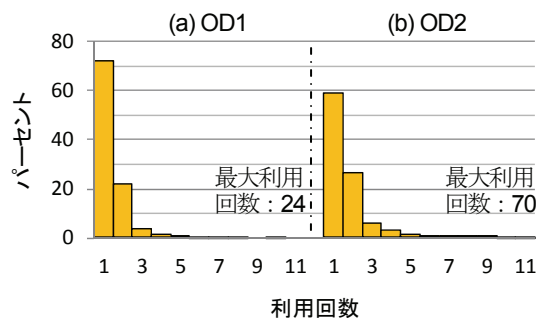


図-3 分析期間中の首都高利用頻度 (OD1, OD2)

車種は全て普通車であるが、利用者によって平均速度は大きく異なり、標準偏差は利用者によって 1.9~8.2 km/h の値を示している。このように、個別利用者の自由流速度分布特性から、自由流速度は利用者によって大きく異なり、かつ同一利用者であっても何らかの原因によって選択される自由流速度は異なることが分かる。この個別利用者の自由流速度のばらつきを分析すれば、今まで未知であった新たな速度への影響要因の分析ができる可能性がある。一方、利用回数と自由流速度及びその標準偏差との関係は統計的に有意でなかった (図-4)。すなわち、同一 OD を比較的良好に利用する利用者とはそうでない利用者の自由流速度には明確な差は見られない。

表-2 個別車両の自由流速度の例 (非降雨時)

OD	利用者	利用回数	自由流速度 (km/h)			
			最小値	最大値	平均	標準偏差
OD 1	1-1	18	75.9	101.7	84.4	5.5
	1-2	16	68.7	77.6	73.5	1.9
	1-3	15	75.4	90.6	83.5	4.3
	1-4	12	74.4	89.1	83.3	4.1
	1-5	11	73.3	92.2	79.2	5.1
OD 2	2-1	52	84.3	102.1	96.3	4.2
	2-2	47	69.9	110.6	93.2	8.2
	2-3	45	93.2	118.0	106.2	6.0
	2-4	40	65.6	81.7	72.6	3.8
	2-5	33	79.3	98.3	89.6	5.5

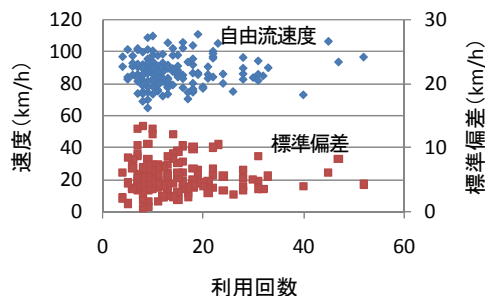


図-4 利用回数と自由流速度との関係 (OD2)

(4) 走行距離と自由流速度との関係

本節では道路線形条件等の異なる複数の OD における自由流速度を比較するために、各 ETC データを対象に第 3 章(2)節で説明した STS を算定し、ETC データからの旅行速度との差を利用して分析を行う。このときの速度差

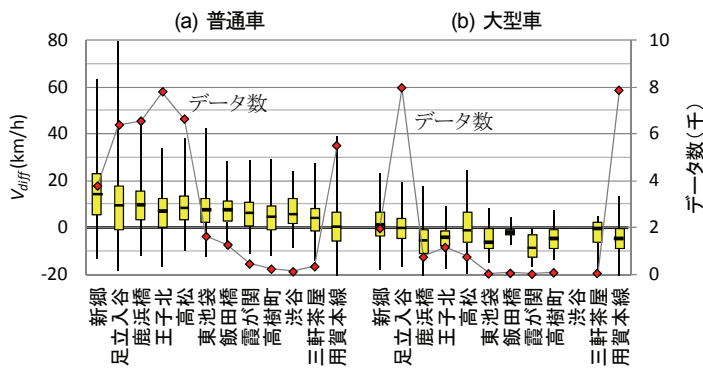


図-5 OD3~OD14における V_{diff} の分布 (非降雨時)

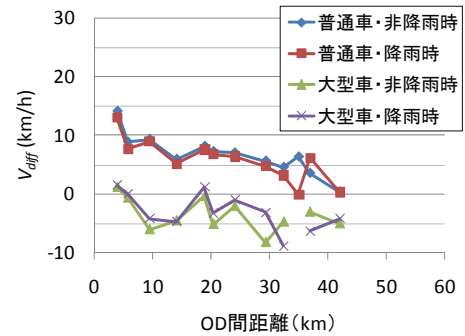


図-6 OD 間距離と V_{diff} の平均との関係

を本研究では V_{diff} と定義する。すなわち、

$$V_{diff} = \text{「ETC データからの旅行速度} - \text{STS} \text{」}$$

である。STS は通過する全ての区間を各区間の平均速度で走行した場合に予想される旅行速度であるので、 V_{diff} は、平均的な運転で走行した場合に比した差分を示すものである。

OD3~OD14 の各 OD における ETC データから V_{diff} を算定し、非降雨時におけるその分布を車種別にまとめて図-5に示す。この図における入口は川口から最も近い新郷 (走行距離: 約 4km) から始め、近い順に並べてある。ばらつきは大きいものの、遠くなればなるほど V_{diff} は小さくなる傾向が確認できる。この傾向は、OD 間距離と V_{diff} の平均との関係を示す図-6によって更に明確になる。例えば、川口 JCT から約 10km 以内の入口から進入する普通車はその区間の平均速度より約 10~20km/h を上回る速度で走行する。用賀本線料金所から川口までの普通車は平均的に交通の流れに合わせて走行していることが分かる。ただし、この OD の場合は真の経路が特定できないので、分析結果の解釈においては注意する必要がある。

以上の分析は自由流において車両感知器から推定する旅行速度と実際の旅行速度との差に関する分析ともいえるので (旅行時間にしても同様)、旅行時間の信頼性の観点からは渋滞流まで含めた分析も必要であると考えられる。ところが、ここでは1つの経路のみを対象としたため、道路線形や交通状況の異なる経路を対象にした分析は必須である。分析対象の経路は川口に近いほど線形条件が良好であり、比較的交通量も少ないが、逆方向の場合や他の経路では異なる結果が得られる可能性が十分あると考えられる。

5. おわりに

本研究ではETC データを活用し、首都高の自由流状態における個別車両の速度分布特性について分析した。特に、感知器データでは分析のできない車種別の速度分布について調べた。普通車は時間雨量の増加に伴ってばら

つきは小さくなるが、大型車の場合は非降雨時における速度のばらつきが相対的に大きくないため、時間雨量によって速度は低下するもののばらつきは大きく変動しない。同一 OD の利用回数と速度には統計的な有意差は見られなかった。車両感知器から算定した旅行速度と実際の旅行速度には差については不十分ではあるが、場合によっては大きな差が見られることを明らかにした。

以上のような分析結果は各種交通シミュレーションにおける初期値設定において、車種別の自由速度設定、さらに OD 別の自由速度の調整などに活用できると考えられる。ただし、このような交通シミュレーションにおける初期値設定がどれだけシミュレーション結果に影響を及ぼすかについては検討が必要である。なお、本研究の分析では一部の OD のみを分析対象としたので、更なる分析が必要である。以上の分析は、ETC データを利用して今までは困難であった様々な分析の可能性を示したことに意義があると考えられる。

謝辞

本研究で用いた ETC データ及び車両感知器データは首都高速道路株式会社より提供いただいたものである。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) (財)道路システム高度化推進機構: ETC 便覧—平成 20 年度版 (2008 年), 2008.
- 2) 鈴木一史, 中村英樹: 「実務者のための交通流調査講座 - 第 5 回 - 道路交通管理のための交通流調査」, 交通工学, Vol. 43, No. 6, 交通工学研究会, pp. 82-89, 2008.
- 3) 新井寿和, 割田博, 桑原雅夫: 「都市高速道路における自由流速度への影響要因に関する研究」, 交通工学, Vol. 43, No. 5, 交通工学研究会, pp. 37-47, 2008.
- 4) Hong, S. and T. Oguchi: 「Lane Use and Speed-Flow Relationship on Basic Segments of Multilane Motorways in Japan」, TRB 87th Annual Meeting, Compendium of Papers #08-0190, Washington, D.C., 2008.