

# 多車線高速道路の単路部における交通量-走行速度関係の定式化\*

## Development of Speed-Flow Relationship Model for Basic Segments of Multilane Expressways\*

洪 性俊\*\*・大口 敬\*\*\*

By Sungjoon HONG\*\*・Takashi OGUCHI\*\*\*

### 1. はじめに

走行安全性は当然なものとして確保したうえの迅速な交通の流れは都市間高速道路が提供すべき交通サービスの質を左右するもっとも大きな要素である。このような概念における交通サービス質の評価指標としては走行速度が考えられるが、近年の性能照査型道路設計のように道路の設計段階において交通サービス質を評価するためには走行速度、とくに交通量-速度（以下、QV）関係の明確かつ体系的な整理が必要となる。

交通量の少ない自由流状態で観測される実勢速度は Hong・Oguchi の研究<sup>1)</sup>のように走行安全性と関連して多く研究され、道路の幾何構造・幾何構造、降雨量等の実勢速度に影響を及ぼす要因が明確になっている。これに比べ、QV 関係は主にその形状に焦点が当てられてきた。しかし、QV 関係は交通量の増加により速度が低下する傾向を表すものであり、実勢速度に影響を及ぼす上記のような要因は基本的に QV 関係にも影響を及ぼすものと考えられるが、こうした観点からの研究は十分に検討されていないのが現状である。さらに、大型車と降雨による影響は報告されているものの、定量的な分析は行われた例が少ない。

このような背景のもと、本研究では多車線の自動車専用道路に焦点を当てて、非渋滞流における大型車および降雨による QV 関係の変動特性を分析し、この変動特性を考慮した QV モデルの定式化を目的とする。

### 2. 分析データと分析方法

#### (1) 分析データ

本研究のためには交通データと降雨量データが必要である。交通データは(旧)日本道路公団から入手した車両

感知器データを活用することにより、表-1に示す対象道路・区間のうち、本線料金所、トンネル出口、分流・合流部付近のように連続的な走行環境に影響を及ぼす区間を除いた単路部における総計641箇所から1998~2001年の4年間の膨大なデータを収集する。このデータは5分間の交通量・大型車交通量・平均速度が車線別に集計されたものである。

表-1 分析対象区間・地点数

対象道路	分析区間	対象区間延長 (km)	観測地点数 (箇所)
東名高速道路	東京 - 三ヶ日	251.7	225
東北自動車道	東京 - 青森	679.5	181
中央自動車道	東京 - 名古屋	366.8	154
中国自動車道	大阪 - 下関	543.1	81

降雨量データは日本気象協会から入手した AMEDAS データを用いる。AMEDAS データには1,300箇所以上の気候観測所で観測された10分間降雨量があり、本研究における各対象地点の最寄りの気候観測所の降雨量データを交通データと関連づけて分析データを作成する。

収集した交通データには渋滞流のデータ、速度・交通量の観測精度の低下した感知器からのデータ等が含まれているため、Hong・Oguchi の研究<sup>2)</sup>と同一手法でデータクレンジング作業することにより、これらを排除する。また、本研究では平日・昼間(08:00-16:00)のみを対象とする。

#### (2) 分析方法

本研究では既存研究との整合性を考慮し、85th-percentile 速度を用いて分析を行う。計算に用いる統計データは20台/5分/車線刻みの交通量カテゴリ・10%刻みの大型車混入率カテゴリ・1mm刻みの1時間累積降雨量(以下、降雨量)カテゴリ別に、また車線・地点別に集計する。ただし、計算結果の信頼性を考慮し、30個以上のサンプルのあるカテゴリのみを対象にして85th-percentile 速度を計算する。こうして求められた85th-percentile 速度(以下、速度)を用いて交通量・大型車混入率・降雨量による速度低下量を分析し、これらによる QV 関係の変動特性について考察する。分析手法は

\* キーワード：交通量，速度，大型車混入率，降雨量

\*\* 学生員，修(工)，首都大学東京大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程（東京都八王子市南大沢 1-1，mrhong@comp.metro-u.ac.jp）

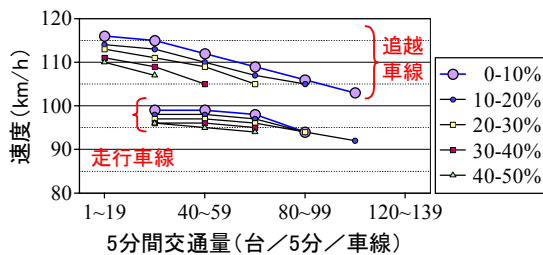
\*\*\* 正員，博(工)，首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境工学専攻教授（東京都八王子市南大沢 1-1，oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp）

追越車線のみを対象にした Hong・Oguchi の研究<sup>2)</sup>と同様であるが、本研究では全ての車線を対象とする。さらに、分析結果に基づいて適切な QV モデル構造を検討し、回帰分析によりこのモデルのパラメータを推定する。以上の分析に基づいて QV 関係の変動特性を考察する。

### 3. 大型車混入率と QV 関係

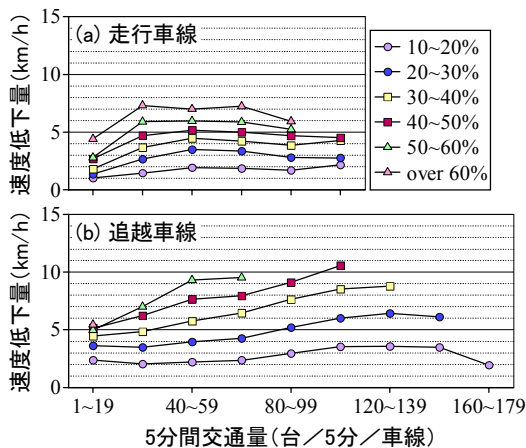
図-1 は非降雨時 (降雨量 0mm) のある地点において大型車混入率 (以下、HVR) カテゴリ別に示した QV 関係の典型的な例である。走行車線と追越車線の速度には大きな差があり、走行車線ではわずかに上に凸な曲線的な QV 関係が見られるが、相対的に速度の高い追越車線ではほぼ直線的な QV 関係が確認できる。走行車線でも速度の速い地点では直線に近い QV 関係が見られ、速度が速いほど低交通量レベルで交通量に敏感であると考えられる。また、車線と関係なく、HVR が大きくなるほど、速度は低下することが明確である。

交通量カテゴリごとに「HVR が 0-10%における速度」に対する各 HVR カテゴリにおける速度低下量を計算する。データ数が統計的に有意な全地点を対象にこの計算



- 非降雨時 (降雨量=0mm), 平日・昼間
- 中央自動車道下り方向 91.250KP; 片側 2 車線, 規制速度 80km/h, 平面曲線半径 1,925m (1,200m→∞のクロソイド上), 縦断勾配-1.42% (-2.0→-0.7%の凹形曲線上)

図-1 HVR により変動する QV 関係の例



- 非降雨時 (降雨量=0mm), 平日・昼間

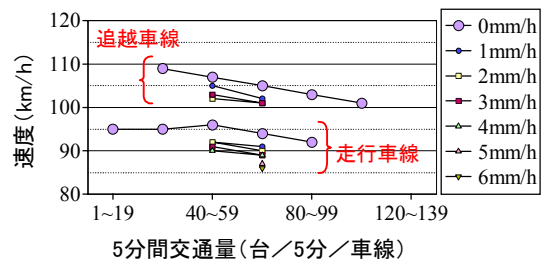
図-2 HVR による速度低下量の全地点平均

を行い、各交通量・HVR カテゴリにおける速度低下量の全地点平均を示したものが図-2である。すなわち、図-2は HVR による速度低下の一般的傾向を示すものと考えられる。追越車線に関する結果は Hong・Oguchi の研究<sup>2)</sup>結果と同様であるが、本研究で得られた走行車線における分析結果でも HVR の増加による速度の低下が明確である。しかし、追越車線では、交通量が多くなるほど HVR に対する速度低下率はある交通量レベルまで増加するが、走行車線では交通量が 1-19 台/5 分/車線のカテゴリを除いてほぼ一定の速度低下率である。

### 4. 降雨と QV 関係

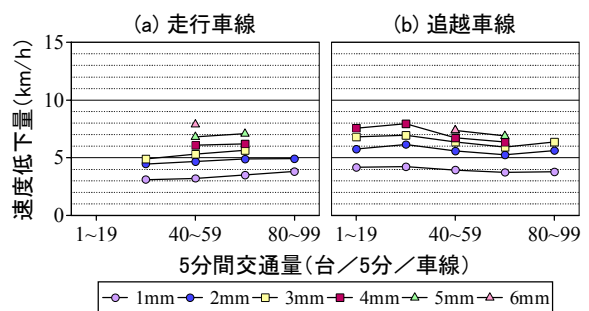
HVR と同様の手法により降雨量による速度への影響を分析する。図-3は図-1とは別の地点を例として HVR が 20-30%のときの QV 関係を降雨量別に作成したものである。降雨時 (降雨量>0mm) のデータは相対的に少ないため、この地点で頻りに観測された交通量のカテゴリでしか降雨量による QV 変動が確認できないが、降雨量の増加に対する速度低下率も増加する傾向が見られる。

図-4は図-2と同じ手法を用い、交通量カテゴリ別に非降雨時の速度に対する各降雨量レベルにおける速度



- 大型車混入率 20-30%, 平日・昼間
- 東名高速道路上り方向 135.090KP; 片側 2 車線, 規制速度 100km/h, 平面曲線半径 2,400m (円曲線), 縦断勾配+1.82% (0.0→+2.0%の凹形曲線上)

図-3 降雨量により変動する QV 関係の例



- 大型車混入率 20-30%, 平日・昼間

図-4 降雨量による速度低下量の全地点平均

低下量を計算して全地点の平均を示したものである。追越車線に関する結果は Hong・Oguchi の研究<sup>2)</sup>結果と同様であり、走行車線に関する結果も類似する傾向を示している。どの車線でも降雨量の増加による速度低下率の増加は明確であるが、交通量レベルによってこれに違いはない。交通量と降雨量増加による速度低下率には一定または傾きのない直線的な関係があるとみられる。また、追越車線だけでなく走行車線でも降雨量が 1mm 観測された際の速度の低下率は降雨時における降雨量の増加による速度低下率より大きいことが確認できる。これは、洪・大口の研究<sup>3)</sup>における降雨量と実勢速度との関係の分析結果でも見られる傾向である。

## 5. QV 性能曲線の定式化

### (1) QV モデルの構造式

以上の分析に基づき、本研究では 85th percentile 速度を推定する次のような車線別 QV モデルを提案する。

- HVR0%・降雨量 0mm のケースを理想条件として、QV モデルは式 1 のような 2 次曲線として仮定する。追越車線のように速度の高い場合は 2 次項のパラメータ推定値が 0 となることにより回帰分析を通じて直線および曲線関係を共に明確に表現することができる。

$$V_{ideal} = \alpha_0 - \alpha_1 q - \alpha_2 q^2 \quad (式 1)$$

ここで、 $V_{ideal}$  : 理想条件における速度 (km/h)  
 $q$  : 各車線の 5 分間交通量 (台/5分/車線)  
 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$  : パラメータ

- HVR による速度低下量は図-5(a)に示すように 3 章で確認された傾向を考慮し、式 2 で表現する。

$$V_{adj,HVR} = (\beta_0 HVR) q^{\beta_1} \quad (式 2)$$

ここで、 $V_{adj,HVR}$  : HVR による速度低下量 (km/h)  
 $HVR$  : 大型車混入率 (%)  
 $\beta_0, \beta_1$  : パラメータ

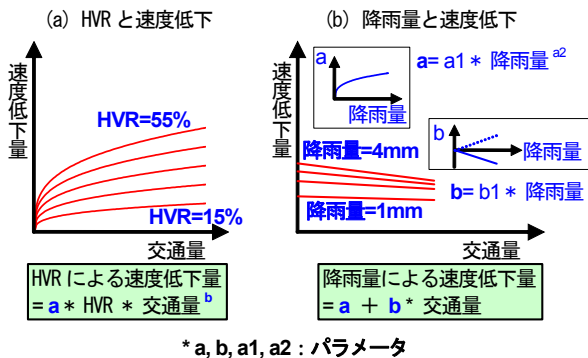


図-5 HVR と降雨量による速度低下の概念図

- 降雨量による速度低下量は図-5(b)に示すように 4 章で確認された傾向を考慮し、式 3 で表現する。

$$V_{adj,Rain} = \gamma_0 Rain^{\gamma_1} + \gamma_2 Rain \cdot q \quad (式 3)$$

ここで、 $V_{adj,Rain}$  : 降雨量による速度低下量 (km/h)  
 $Rain$  : 降雨量 (mm)  
 $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$  : パラメータ

したがって、本研究における QV モデルの構造式は式 1 から式 2・3 を減じて得られる式 4 である。

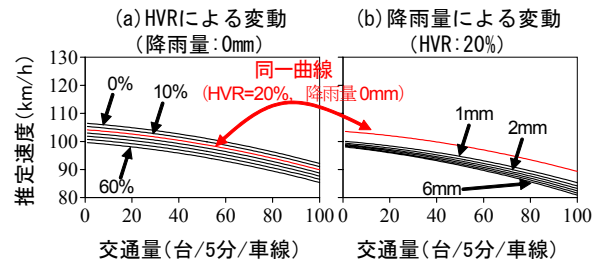
$$V_{estimate} = \alpha_0 - \alpha_2 q^2 - (\alpha_1 + \gamma_2 Rain) q - \beta_0 HVR \cdot q^{\beta_1} - \gamma_0 Rain^{\gamma_1} \quad (式 4)$$

ここで、 $V_{estimate}$  : 推定速度 (km/h)

この構造式で非線形回帰分析を行い、車線・片側車線数・規制速度別に各パラメータの推定値を求める。

### (2) パラメータ値の推定結果

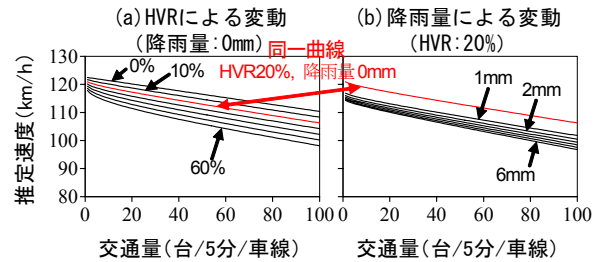
式 4 のパラメータ推定例として、片側 2 車線・規制速度 100km/h 区間における QV モデル式と、その HVR と降雨量による変動の様子を図-6 と図-7 に示す。図-6 は走行車線、図-7 は追越車線の結果であり、それぞれの左側の図は非降雨時における HVR による変動を、右側は HVR=20-30%における降雨量による変動を示したものである。



$$V_{estimate} = 106.5 - 0.0008q^2 - (0.063 + 0.005Rain)q - 0.114HVR \cdot q^0 - 3.540Rain^{0.244} \quad (R^2 = 0.581)$$

- 片側 2 車線・規制速度 100km/h 区間の例 (平日・昼間)

図-6 走行車線における QV 関係の定式化結果の例



$$V_{estimate} = 122.6 - 0 \cdot q^2 - (0.122 + 0.005Rain)q - 0.077HVR \cdot q^{0.212} - 4.032Rain^{0.271} \quad (R^2 = 0.640)$$

- 片側 2 車線・規制速度 100km/h 区間の例 (平日・昼間)

図-7 追越車線における QV 関係の定式化結果の例

表-2 モデルパラメータ推定値のまとめ

$$V_{estimate} = \alpha_0 - \alpha_2 q^2 - (\alpha_1 + \gamma_2 Rain)q - (\beta_0 HVR)q^{\beta_1} - \gamma_0 Rain^{\gamma_1} \quad (式 4)$$

パラメータ	走行車線 (第1走行車線)			第2走行車線	追越車線		
	片側2車線		片側3車線	片側3車線	片側2車線		片側3車線
	規制速度 80km/h	規制速度 100km/h	規制速度 100km/h	規制速度 100km/h	規制速度 80km/h	規制速度 100km/h	規制速度 100km/h
$\alpha_0$	101.8	106.5	98.1	118.6	118.4	122.6	128.9
$\alpha_2$	0.0005	0.0008	0.0006	0	0	0	0
$\alpha_1$	0.068	0.063	0.075	0.125	0.132	0.122	0.106
$\gamma_2$	0.005	0.005	0.012	0.008	0	0.005	0.011
$\beta_0$	0.053	0.114	0.065	0.152	0.043	0.077	0.022
$\beta_1$	0	0	0	0	0.306	0.212	0.555
$\gamma_0$	2.842	3.540	2.818	3.844	4.122	4.032	5.130
$\gamma_1$	0.362	0.244	0.167	0.221	0.438	0.271	0.327
R <sup>2</sup>	0.480	0.581	0.546	0.695	0.370	0.640	0.642
サンプル数	6,772	12,606	5,161	5,894	6,414	14,730	5,286

図-6の走行車線におけるパラメータ推定結果の特徴は、HVRによる速度低下量と交通量の間には有意な関係がなく、モデル式の交通量のべき乗が0となっているため、HVRが増加するとQV関係は平行移動して速度が低下する。また、図-7の追越車線の場合は、理想条件におけるQVモデルは2次曲線ではなく直線となる。

この例のように、車線別・片側車線数別・規制速度別のQV性能曲線のモデル構造式のパラメータ推定結果を表-2にまとめる。ただし、片側3車線・規制速度80km/hの区間はサンプル数が少なく、有意なパラメータを推定できなかった。値が0のパラメータは、非線形回帰分析にもとづき統計的に有意でないと考えられたものである。その結果、追越車線の場合の交通量の2次項のパラメータ、および走行車線(片側3車線区間では第1走行車線)のHVRによる速度低下に関するパラメータが0となった。これは、理想条件における追越車線のQV関係は直線として現れること、走行車線におけるHVRの速度低下への影響は交通量と関係なく一定であることを意味する。全体にモデルの決定係数(R<sup>2</sup>)は必ずしも高くないものの、パラメータ推定結果は3章・4章で確認したHVRと降雨量によるQV関係の変動特性を適切に反映できている。なお、片側3車線・規制速度100km/h区間では、第1走行車線で $\beta_1$ が、追越車線で $\alpha_2$ が、それぞれパラメータとして有意とならなかったが、第2走行車線の場合は、 $\alpha_2$ 、 $\beta_1$ の両方のパラメータが有意とならなかった。

## 6. おわりに

本研究では多車線自動車専用道路の単路部における非渋滞流のQV関係について分析し、HVRおよび降雨量によるQV関係の変動特性を調べて、その結果を考慮した

QV関係の定式化を行った。道路の線形・幾何構造のような地点特性はまだ考慮していないため、定式化に用いた実データには大きなばらつきがあるが、ある「片側車線数・規制速度・車線」の条件が与えられれば、多車線自動車専用道路における平均的なQV関係を表す車線別QV性能曲線を提示できた。今後の課題としては、断面の交通需要条件から交通量の車線分布を考慮して断面全体の交通性能を評価する手法の検討、また道路の幾何構造などの地点特性を考慮して、空間的に変動するQV性能曲線のモデル化を行うことが挙げられる。

## 参考文献

- 1) Hong, S., Oguchi, T.: "Evaluation of Highway Geometric Design and Analysis of Actual Operating Speed", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, No.79, 2005
- 2) Hong, S., Oguchi, T.: "Effects of Rainfall and Heavy Vehicles on Speed-Flow Relationship for Multilane Expressways in Japan," presented at Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Compendium of Papers #07-1933, 2007
- 3) 洪性俊, 大口敬: 「高速道路における交通性能の変動要因分析」, 土木計画学研究・講演集, VOL33, CD-ROM, 351.