

自動車専用道路における交通量の 車線分布モデルの開発

Development of a lane distribution model of traffic volume
on expressways

加藤 豊章*・大蔵 泉**・山本 太志***・森田 綽之****

By Toyoaki Kato, Izumi Okura, Futoshi Yamamoto, Hirohisa Morita

This report aims at the development of a lane volume distribution model based on the data measured on Metropolitan Expressway for evaluation of the level of service at the ramp-expressway junctions. In the first step, we analyzed some factors that influence the utilization rate of outside lane at the ramp-expressway junctions, and examined the adaptability of the estimation model applied in the HCM by the measured data, at the final stage, developed the lane-volume estimation models fitting to the measured data.

1. はじめに

自動車専用道路のランプ分合流部においては、ランプ流入交通によって本線の交通は速度の低下等の影響を受けていると考えられる。また、現在供用中の首都高速道路においてもランプ合流による影響と思われる渋滞の発生が見られる場合がある。

しかしながら、高速道路建設を取り巻く種々の制約のために、合流区間を十分な余裕をもって建設することはできないのが現状である。その様な状況の

中で、将来の交通状況を十分に勘案した上で計画・設計を行っていくことが必要であり、そのためにはランプ部での将来の交通状況を推定し、サービス水準を適切に設定することが重要である。

分合流部のサービス水準に関する研究は、日本での研究事例は少なく²⁾、米国のHCM'85¹⁾の内容がよく参照される。HCM'85ではランプのサービス水準をチェックするために合流あるいは分流側の交通量を算出する計算式が記されている。

本研究では、首都高速道路の実測データを基に車線利用率のパターンとそれに与える各種の要因の相関を調べるとともに、HCMの中で提起されている計算式の適合性を検討し、さらに首都高速道路実測データに基づいた同様のモデル式を開発することを目的とする。

* 正会員 首都高速道路公団
第一建設部

(〒101 東京都千代田区岩本町3-2-4)

** 正会員 工博 横浜国立大学工学部
建設学科(土木)教授

(〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

*** 正会員 J R東日本株式会社

**** 正会員 工博 首都高速道路公団
計画部 調査課長

(〒101 東京都千代田区霞が関1-4-1)

2. 実測データの概要

(1) ランプ形態の種類及び分類

ランプはその取り付け位置により、表-1の様に区別し、その名称については表中の名称を本論文では使用することとする。

表-1 ランプ形態の種類による名称

分類	名 称	形 態
サイドランプ	サイドONランプ	
	サイドOFFランプ	
センターランプ	センターONランプ	
	センターOFFランプ	

(2) 交通量実測調査

首都高速道路3号線下り、同4号線の下り及び上り線においてビデオ撮影し、ランプ直近上流部のデータの読み取りを行った。実測地点の概略図を図-1に示す。

データは、全て5分間集計とし図-2に示す様に車線別の車種別交通量(2車種)、車線別の平均速度、ランプの車種別交通量(2車種)について読み

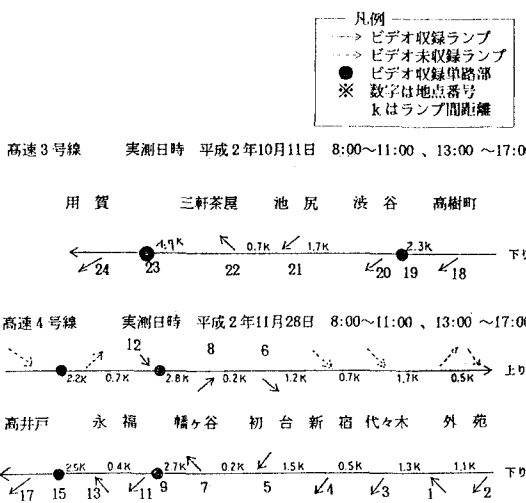
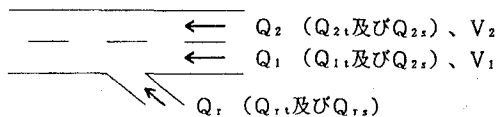


図-1 実測地点概略図

取りを行った。なお、渋滞時のデータは削除した。

また、分合流の影響の比較的小さいと考えられる区間(以下、単路部という)についても高速3号線、同4号線、各2ヵ所、計4ヵ所での実測を行った。



注) Q : 交通量 [台/5分]、V : 速度 [km/時]
添字1: 走行車線、添字2: 追越車線、添字r: ランプ
添字t: 大型車、添字s: 小型車

図-2 読み取りデータ

(3) データの状況

各実測値の平均、標準偏差等をランプ形態別にまとめたものを表-2に、全ランプ部(直近上流地点)での断面交通量の頻度を図-3に示す。

ランプ部の断面交通量(Q)のレンジは、平均で約230 [台/5分]、標準偏差約50 [台/5分]程度である。今回のデータは、昼間時におけるデータなので、断面交通量100 [台/5分]前後のデータはほとんどない。また、大型車混入率(Pt)は、15~25%程度である。

ランプ交通量のレンジは、各地点においてばらつきがあるが、概ね平均で5~50 [台/5分]程度である。

単路部での断面交通量(Q)のレンジは、平均で約220 [台/5分]、標準偏差約40 [台/5分]程度である。大型車混入率(Pt)は、平均で約17%、標準偏差約5%程度でありランプ部との差はあまりない。

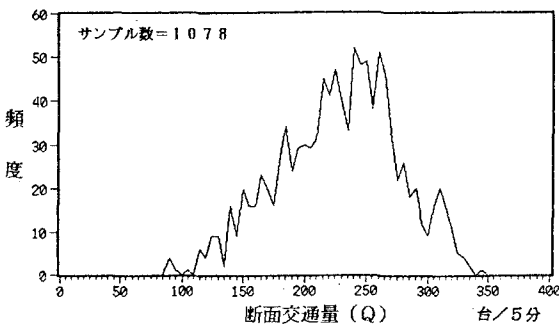


図-3 断面交通量頻度分布(ランプ部)

表-2 実測データ総括表

種 別	箇 所	サ ン プ ル 数	本 線 交 通								ランプ交通量 (Q _r) 〔台/5分〕				走行車線利用率 (U) 〔%〕	
			断面交通量(Q) 〔台/5分〕				大型車混入率P _t									
			最大	最小	平 均	σ	平 均	σ	最大	最小	平 均	σ	平 均	σ		
サイ ド	ON	3	181	309	121	215.8	44.2	17.8	4.7	48	1	21.2	10.5	35.4	4.6	
	OFF	6	376	345	111	237.4	49.0	21.9	5.2	70	0	19.1	13.7	40.5	5.8	
セン ター	ON	3	173	280	87	199.7	41.2	20.1	6.5	54	1	21.1	15.8	40.9	5.1	
	OFF	5	348	327	89	232.1	47.1	17.2	5.3	99	1	32.5	20.7	36.7	3.8	
ランプ計		17	1078	345	87	228.0	48.3	19.4	5.7	99	0	24.1	17.3	38.5	5.4	
単路部計		4	284	321	105	216.7	43.7	16.9	5.1	—	—	—	—	38.7	3.6	

(4) 各実測地点の平均走行車線利用率

各地点の平均の走行車線利用率 (U) は、32～45%程度であり各地点においてばらつきがある。

平均走行車線利用率と平均断面交通量との関係とランプ形態別にプロットしたものを図-4に示す。

各ランプ形態と単路部 (図中×印) の平均走行車線利用率を比較してみる。

3号線については、サイドONランプはデータがないため比較できない。サイドOFFランプ (図中●印・番号18、20、24) については、比較の利用率が高く、センターONランプ (□、21) についてはいくらか高くなっている。センターOFFランプ (■、22) は低い傾向にある。

4号線については、サイドONランプ (○、1、12、13) は、低くなる傾向が見られ、特に13は低くなっており、この地点のランプ交通量は他地点に比べて多かった。サイドOFFランプ (●、2、3、11) は、2を除いては3号線とは逆に低めになっているが、3及び11のランプ交通量は他地点に比べて少ない。センターONランプ (□、5、8) は、5については高くなっており、8は明確ではないがこの地点のランプ交通量は少なかった。センターOFF (■、4、6、7、17) については、低くなる傾向にあるとおもわれ、特に4、17のランプ交通量は多かった。

以上をとりまとめると、OFFランプについては、当然のことながら流出交通が流出側の車線を走行しているため流出側の車線の利用率が高くなると思われる。また、ONランプの場合は、流入交通との錯

綜を避けるために本線の交通の一部が流入側の車線と反対側に車線変更しているとも考えられるため、流入側の車線の利用率が低くなると思われる。

各ランプ形態別に個々の地点の比較をした結果、形態毎の傾向は概ね同様と思われるので以下については、路線毎のデータを統合し4種のランプ形態についてそれぞれ検討を進める。

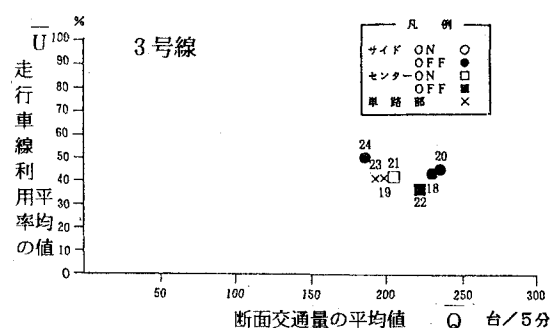


図-4(a) 地点別平均走行車線利用率

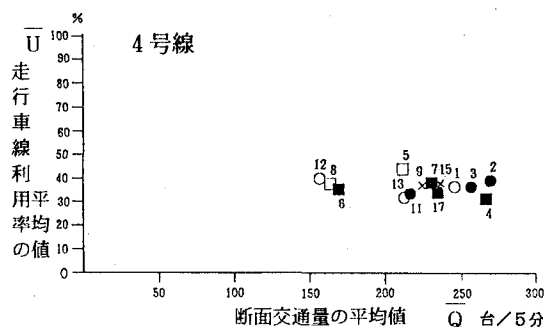


図-4(b) 地点別平均走行車線利用率

3. 走行車線利用率の変動要因の分析

(1) 変動要因の分析

a) 分析目的

走行車線利用率 ($U=Q_1/Q \times 100\%$) は、データにばらつきはあるものの、特に単路区間においては断面交通量によって表す事ができると考えられる。一方、分合流部における本線の車線分布は分流・合流する車による影響を大きく受けていると考えられる。そこで、ここでは分合流部での車線分布はどのような構造として説明できるのかを検討するものである。

分析対象とする走行車線利用率を交通量との関係で、サイドONランプについて図示すると図-5のようになる。

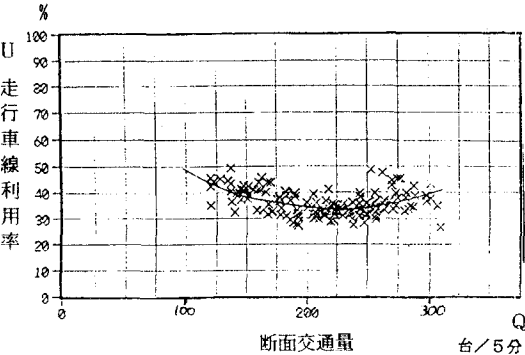


図-5 サイドONランプ走行車線利用率

b) 分析方法

分析は以下の手順で行う。

- ① 各ランプ形態毎にまとめられたデータから算出された走行車線利用率 (U) を、式-1の2次回帰曲線によって断面交通量 (Q) と関係付ける。

$$U = aQ^2 + bQ + c \quad \text{(式-1)}$$

- ② 求められた回帰曲線に実測値の断面交通量 (Q) を代入し計算値で得られる走行車線利用率 (U_c) 求める。

- ③ 計算値 (U_c) と実測値 (U) の残差 (ε) を式-2により求める。

$$\varepsilon = U - U_c \quad \text{(式-2)}$$

- ④ 求められた残差を表-3の要因で重回帰分析を行い、車線利用率の説明構造を検討する。

c) 分析結果

分析結果を表-3に示す。

各ランプ形態とも当然の事だが走行車線及び追越車線の交通量に最も良い相関を示しているが、断面交通量 (Q) との内部相関があると考えられるのでここでは言及しないこととし、その他の要因について考えるものとする。

① ランプ交通量

センターONランプを除いて相関が見られるがサイドONランプの相関係数の符号がプラスとなっており予想していた結果と異なっていた。

② 走行車線速度及び追越車線速度

全てのランプ形態において相関がみられなく、その符号も規則性が見られない。

③ 大型車混入率

サイドONランプを除いて相関が見られるが、OFFランプの場合は各ランプを利用する車種に偏りがある等の違いがあるとも考えられるので説明力は乏しい。

表-3 残差-要因間相関分析表

要 因	サイドランプ		センターランプ	
	[ON] n= 181	[OFF] n= 376	[ON] n= 173	[OFF] n= 348
ランプ交通量	R= 0.892 F= 27.408	R= 0.448 F= 9.212	R= 0.024 F= 0.097	R= 0.408 F= 11.021
走行車線速度	R= 0.037 F= 0.233	R= 0.040 F= 0.587	R= 0.086 F= 1.205	R= -0.031 F= 0.328
追越車線速度	R= 0.028 F= 0.136	R= -0.059 F= 1.275	R= 0.005 F= 0.004	R= 0.010 F= 0.032
大型車混入率	R= -0.078 F= 1.040	R= -0.12 F= 0.002		R= -0.21 F= 0.001
ランプ交通量 走行車線交通量	R= -0.112 F= 2.154	R= -0.16 F= 10.88	R= 0.126 F= 2.629	R= -0.23 F= 1.021
ランプ交通量 追越車線交通量	R= -0.067 F= 0.771	R= -0.22 F= 12.88		R= -0.13 F= 0.19
ランプ交通量 断面交通量	R= 0.023 F= 0.091	R= -0.051 F= 0.064		R= -0.17 F= 0.283
走行車線交通量				
追越車線交通量				

n : サンプル数、R : 偏相関係数、F : F値、■ : F検定5%有意

④ 走行、追越、断面に対するランプ交通量の比
各要因とも全てのランプについて十分大きな相
関が見られるものはないが、ランプ交通量／断
面交通量については符号が予測していたものと
一致していた。

以上、各要因についてその相関を調べてみたが、
説明力の強い要因は今回のデータでは明確には見出
せなかった。

(2) 大型車の車線利用率に与える影響

大型車が車線利用率に与える影響は(1)の分析では
説明力が乏しいため、ここでは、単路部のデータのみ
を使用して大型車の車線分布に与える影響を分析
してみた。

a) 分析方法

断面での大型車混入率を実測値の分布状況を考
えて3ランクに分類し、各ランクでの走行車線利用率
(U)の平均値及び分散の差の検定を行う。

分類ランクは、以下のⅠ～Ⅲとした。

Ⅰ： $0\% \leq \text{大型車混入率}(Pt) < 20\%$

Ⅱ： $20\% \leq \text{大型車混入率}(Pt) < 25\%$

Ⅲ： $25\% \leq \text{大型車混入率}(Pt)$

b) 分析結果

平均値の差の検定結果については、表-4に示す
ようにランクⅠとⅡの間に差がみられるが、その他
のもの間には差はみられない。

分散の差の検定結果については、ランクⅠとⅡ及
びランクⅠとⅢの間において差がみられるが、ラン
クⅡとⅢとの間においてはみられない。

以上の結果を考慮すると今回得られているデータ
における大型車混入率のレンジの範囲では、車線利
用率に対して大型車混入率は十分に明確な影響があ
るとは必ずしも言えない。

表-4 大型車混入率別車線利用率分布検定

分散 (σ^2)	Ⅰ $0 \leq Pt < 20\%$	Ⅱ $20 \leq Pt < 25\%$	Ⅲ $25\% \leq Pt$
平均値(u)			
Ⅰ $0 \leq Pt < 20\%$		○	○
Ⅱ $20 \leq Pt < 25\%$	○		×
Ⅲ $25\% \leq Pt$	×	×	

平均値の差の検定 (t検定) 分散の差の検定 (F検定)

4. 交通量の車線分布モデルの作成

(1) 実測データのHCMモデル式への適合度

HCMでは、分合流部におけるサービス水準の検
討をするために、分合流直近の車線分布状況を表す
モデル式(以下、HCM式という)を適用している。

このモデルは、合流或いは分流する側の車線の交
通量(Q_1 、或いは Q_2)を本線の断面交通量(Q)
及びランプ交通量(Q_r)という2つの状態量で表
すものである。

ここでは今回実測で得られた断面交通量(Q)と
ランプ交通量(Q_r)をHCM式に代入して得られ
る”計算上の分合流部側車線の交通量”(計算値)
と実測値とを比較し、その適合性をRMS誤差率を
用いて検討した。

HCM式及びその適合度結果の一覧を表-5に示
す。また、センターONランプの結果の例を図-6
に示す。

表-5 HCM式の適合度

ランプ形態	計 算 式 (HCM)	相関係数	%RMS
サイ ド	ON $Q_1 = 0.345Q - 0.115Q_r + 136$	0.834	16.0
	OFF $Q_1 = 0.345Q + 0.520Q_r + 185$	0.906	14.2
セ ン タ ー	ON $Q_1 = 1.25(0.345Q - 0.115Q_r + 136)$ $= 0.431Q - 0.144Q_r + 170$	0.956	20.1
	OFF $Q_1 = 1.10(0.345Q + 0.520Q_r + 185)$ $= 0.380Q + 0.572Q_r + 182$	0.932	19.2

※ Q_1 、 Q 、 Q_r の単位は[台/時]

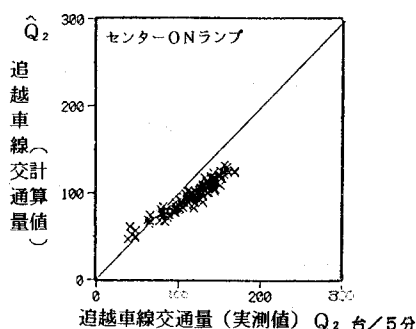


図-6 HCM式の適合性

各ランプ形態とも%RMSの値は比較的良い結果
となっているが、計算値は全体的に過小或いは過大
のどちらかの結果になっており偏りが見られる。以
下、各ランプ形態毎の適合性を述べる。

サイドONランプ及びサイドOFFランプについては、計算値の方が実測値よりも10%程度上回る傾向にあった。

センターONランプ及びセンターOFFランプについては、計算値の方が実測値よりも10～20%程度下回る傾向にあった。

以上の結果、サイドランプについては過大推定の傾向にあり、センターランプについては過小推定の傾向にあるといえる。首都高速道路においてはランプ間距離が比較的接近しており、また、センターランプ・サイドランプが入り交じっていることから、首都高速道路ではHCM式での交通状況とは異なり、追越車線の利用が高いものと考えられる。

(2) 首都高速道路データにおけるHCM構造モデルの適合

ここでは、HCM式と同じ構造を持つ式-3の形の推定モデル式を作成する。

作成する方法は、今回得られた実測データを用いて、被説明変数を”分合流部側車線の交通量(Q_1 或いは Q_2)”とし、説明変数を”本線の断面交通量(Q)”及び”ランプ交通量(Q_r)”として重回帰分析を行い回帰係数、定数項の値を求める。

なお、回帰にあたっては実測値の5分間データを用い、これをHCM式との比較ができるように〔台/時〕の単位に換算した。

$$Q_1 = \alpha Q + \beta Q_r + \gamma \quad (\text{式-3})$$

※ Q_1 はサイドランプ、センターランプ
については Q_2

※単路部では Q_r を除く

a) 分合流部及び単路部のモデル式

重回帰分析の結果と適合性を表-6に示す。また、センターONランプの適合性を図-7に示す。

まず第一に注意しなければならないのは、説明変数の実測データの範囲である。これは、モデル式の適用範囲を規定ものである。断面交通量については表-1の範囲(時間交通量では12倍)であり、これは渋滞領域ではなく、かつ、低交通量のデータがないものである。ランプ交通量についても表-1に示す範囲にある。

各モデルの偏相関係数をみると、第一変数の断面交通量(Q)が大きな説明力を示しており、回帰係数と各説明変数のレンジをみると断面交通量でほとんど説明されるものとなっている。

断面交通量(Q)の回帰係数は、サイドランプでは、ON、OFFとも0.34～0.38程度の値で近い値を示し単路部での回帰係数0.33と近い値になっており、センターランプではONで0.64、OFFで0.60と相互に近い値になっている。

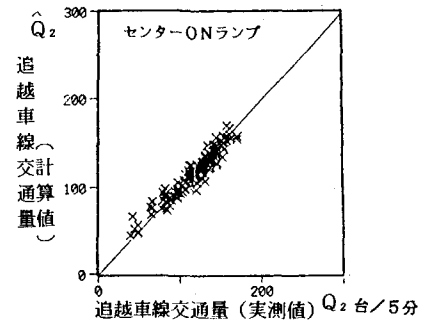


図-7 首都高式の適合性

表-6 首都高モデル式

ランプ形態		計 算 式 (首都高)	重相関係数	偏 相 関 係 数		%RMS
				Q	Q_r	
サイ ド	ON	$Q_1 = 0.342Q - 0.210Q_r + 76$	0.835	0.824	-0.207	12.5
	OFF	$Q_1 = 0.381Q + 0.589Q_r - 75$	0.906	0.902	0.671	10.1
セ ン ター	ON	$Q_1 = 0.635Q - 0.245Q_r + 40$	0.956	0.954	-0.428	6.5
	OFF	$Q_1 = 0.602Q + 0.208Q_r + 9$	0.964	0.938	0.383	5.8
単 路 部		$Q_1 = 0.332Q + 137$	0.898	0.898	—	8.6

※ Q_1 、 Q 、 Q_r の単位は〔台/時〕

ランプ交通量 (Q_r) の回帰係数の符号は、ONランプでマイナス、OFFランプでプラスとなっており、ランプ分合流による影響がそれぞれ示されていると言えるが、係数自体はそれぞれ違った値になっている。その原因は、今回の実測によるランプの交通量のレンジ分布の違いにあると考えられる。

(3) HCM式及び首都高式の比較

表-5及び表-6において、サイドONランプでの式を比較すると、断面交通量 (Q) の係数はHCM式とほとんど同じで、ランプ交通量 (Q_r) の係数はHCM式の-0.12に対して-0.21と首都高の方がマイナス方向に大きい。また、定数項は首都高の方が小さい。

サイドOFFランプについては、断面交通量の係数もランプ交通量の係数も定数項も近い値となっている。

センターランプは、HCMではサイドランプのモデルをONでは"1.25倍"、OFFでは"1.10倍"したモデル式となっているため、各々の係数にその定数を乗したものと首都高のものを比較する。

センターONランプは、断面交通量の係数はHCM式の0.43に対して0.64と首都高の方が大きく、ランプ交通量の係数-0.14に対して-0.25と首都高の方がマイナス方向に大きい。

センターOFFランプは、断面交通量の係数はHCM式の0.38に対して0.60と首都高の方が大きくランプ交通量の係数は0.57に対して0.21と首都高の方が小さい。

以上のことから、サイドランプではほぼHCM式の適用が可能であるが、センターランプに関しては断面交通量の係数の違いが大きく首都高にあてはめると過小推定になるということがわかる。

5. 大型車の車線分布特性

今回のデータの範囲では、大型車の車線分布に与える明確な影響はみられないと前述したが、HCMの中でも大型車の車線利用パターンを参考図として掲載しており、また、車線利用率には影響を及ぼさないにしても大型車の車線の使われかたに何らかの特性があるとも考えられることから、ここで分析を

試みた。

なお、分析には単路部のデータのみを用いた。

(1) 断面及び走行車線の大型車混入率の比較

断面交通量により $3 \cdot (2) \cdot a$ と同じ様に3ランクに分類したうえで、断面の大型車混入率 (P_t) と走行車線の大型車混入率 (P_{t1}) の関係を示すために直線回帰を行った。3ランク統合したものを図-8に示す。回帰の結果を表-7に示す。

各ランクを統合したものをみる限りでは走行車線の大型車混入率 (P_{t1}) は、断面の大型車混入率 (P_t) よりも大きくなる傾向が見られる。

断面の大型車混入率 (P_t) の係数は、Ⅱで小さい値を示しているが、ⅠとⅢを較べてみるとⅢの方が大きくなっている。そのことだけに着目すると大型車混入率が高くなるにしたがって走行車線の大型車混入率はさらに高くなると言えるが、今回のデータ量では明確には判別できない。

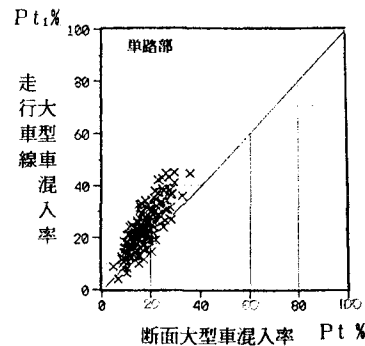


図-8 走行車線大型車混入率

表-7 走行車線の大型車混入率

ランク分類	データ数	回帰式	相関係数
I	$0 \leq P_t < 20$	214 $P_{t1} = 1.39 P_t - 0.5$	0.788
II	$20 \leq P_t < 25$	47 $P_{t1} = 1.16 P_t + 2.9$	0.828
III	$25 \leq P_t < 30$	23 $P_{t1} = 1.44 P_t - 2.9$	0.840
全 体	284	$P_{t1} = 1.24 P_t - 1.5$	0.840

※ $P_{t1} = (Q_{t1} / Q_1) \times 100\%$
 $P_t = (Q_t / Q) \times 100\%$

(2) HCMの参考図との比較

HCMの中に参考として掲載されている断面交通量(Q)と断面交通量に対する走行車線の大型車の比率(Q_{t1}/Q)の関係を表すグラフ(以下、HCM参考図という)について、首都高のデータとの比較を行った。

その結果を図-9に示す。なお、首都高のデータはかなりばらつきが大きいので、断面交通量で5〔台/5分〕ピッチにデータをまとめ、その平均の Q_{t1}/Q をプロットし、標準偏差も合わせてプロットした。

この結果、HCM参考図と首都高では傾向が違が見られ、首都高の方がHCM参考図よりも走行車線の大型車利用率は低いといえる。

この原因の一つとしては、首都高の大型車混入率がHCMに較べて高いこと及びHCMのトラックの定義と本研究における大型車の定義に差異があることが考えられる。

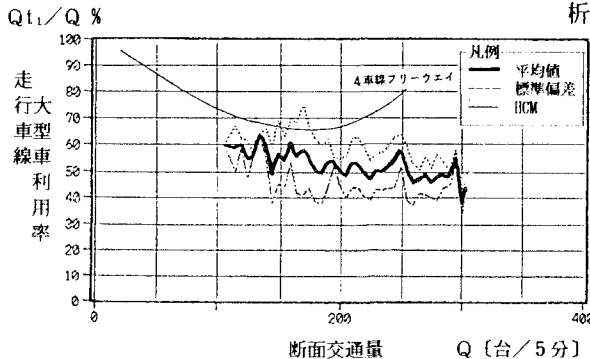


図-9 走行車線大型車利用率
(4車線区間)

6. まとめ

合分流部での車線分布に与える要因の分析では、明確な影響要因の抽出ができなかった。これについては、特にランプ交通量の変動幅が大きくかつ十分なサンプル数に裏打ちされたデータの蓄積が必要であろう。

大型車混入率の大小による影響は、今回のデータからでは実証されなかったため、今後混入率の極端に違うケース(例えば昼夜のデータ)のデータを比較すること等によって継続的に検討する必要がある。

HCM'85の交通量の分布を表す計算式では、サイドランプではやや過大、センターランプでは過小になることが分かった。さらに、首都高速道路データによるモデル式では、ランプ交通量により交通量の車線分布が影響されていることが示されたが、ランプ交通量の係数についてはその実測データのレンジが各ランプ形態で差があるため、より一層のデータ蓄積が必要と考えられる。

大型車自身の車線分布は、断面の大型車混入率よりも走行車線の大型車混入率の方が高いことから、走行車線の方が利用されやすいということがわかった。また、HCM中の大型車の走行車線利用率を表す参考図については、首都高における傾向線とはかなり異なっていることが判明した。

最後に、今回の分析の範囲では首都高速道路での状況が必ずしもHCMの結論にあてはまることはないことが確認された。このため、今後ともデータの蓄積を行うとともに、日本の高速道路に適応した解析方法の構築及びそれに基づく定式化が必要であると考える。

参考文献

- (1)TRANSPORTATION RESEARCH BOARD : HIGHWAY CAPACITY MANUAL Special Report 209 (1985)
- (2)井上矩之・佐々木綱 : 1方向2車線道路における交通量の車線分布について、第26回年次学術講演会講演集 第4部 土木学会(昭和46年10月)
- (3)交通工学研究会 : 合流部の設計に関する調査研究報告書、(昭和62年3月)
- (4)山本太志 : 横浜国立大学修士論文 高速道路における交通量の車線分布の推定方法(平成3年1月)