

トラック類の乗用車換算係数推定方法の提案と検証

岩崎征人*・高田 祐**

道路の交通容量に影響する要因の一つにトラック類の混入がある。本研究は、長い距離を有する一本の高速道路を念頭において、トラック類の乗用車換算係数を矛盾なく推定するための一方法を提案するとともに、本方法を実際の高速道路に適用して検証したものである。本研究が従来の方と異なる点は、幾何構造要因の影響を考慮した補正係数を導入したことである。この補正係数を用いることで、矛盾のない乗用車換算係数を推定できることを明らかにできた。この推定方法を東名高速道路の約47km区間に埋設されている車両感知器データ(6ヶ月分)に適用した結果、妥当な推定値を得ることができた。

Key Words : passenger car equivalents, free speed, geometric factors

1. はじめに

道路の交通容量に影響する交通要因の一つにトラック類の混入がある。トラック類の影響の度合いは、通常乗用車換算係数 (Passenger Car Equivalents : *PCE*) として把握される。高速道路の様々な幾何構造 (主として勾配と勾配の長さの組合せ) 条件下での *PCE* は、1985年版の Highway Capacity Manual (HCM)¹⁾ に集約されているが、ここに示された値は以下に示すような幾つかの推定方法による多くの研究の成果をもとにして²⁾⁻⁴⁾

- ① 2車線2方向道路における追い越し回数を利用した方法。
- ② 交通流中のトラック類の存在による遅れを利用した方法。
- ③ 基準となる車種の車頭間隔とトラック類の車頭間隔を利用する方法。
- ④ 混合交通のV/C比を利用する方法。

これら様々な推定方法によって求められた *PCE* の値は、推定方法間でかなりのバラツキをもっていることが知られている。しかしながら、いずれの推定方法がとられたにしろ、幾何構造条件が厳しくなる (勾配が大きくなること/勾配長が長くなること) ほど推定された *PCE* の値は大きくなる点に関しては共通しており、この点については妥当性を認めることができる。HCMに示されている高速道路の一般区間での *PCE* は、(1) 平坦部 : 1.5~1.7, (2) 丘陵部 : 3.0~4.0, 及び (3) 山地部 : 4.0~8.0 であり、平地部以外の値が平地部より大きくなっている。

しかしながら、米国におけるいくつかの研究でも、

PCE の推定は多くの場合、異なった路線での観測から得られたデータによっている。このことは、データ収集上の制約からくるものであるとしても、等質の交通流を対象にして様々な幾何構造条件下での交通流を比較した結果として *PCE* が推定されたものとは言えない。高速道路の設計にあたっては、同一路線上の比較的等質な交通流を対象とした分析から推定される *PCE* 値を用いる方が、異なった路線上の多地点のデータから推定した *PCE* 値を用いるより有用である、というのが本研究の基本的な考え方である。

我が国においては近年になって高速道路でのトラック類の *PCE* 推定に関する研究が行われつつある^{5),6)}。これらの研究で用いられた手法は、高速道路上の特定地点あるいは数地点においてVTRを利用した観測データや車両感知器から得られた車両一台ごとのパルスデータあるいは車両感知器で収集した5分間の交通流データを用いて、上述した③あるいは④の方法によって推定したものである。いずれの研究についても、解析対象地点での小型車類を基準として *PCE* を推定している。しかし、これらの研究のあるものについては、推定した値と幾何構造条件との関連については言及されていない。同一路線の多地点から得られた交通流データを用いた研究では、推定された *PCE* 値が場合によって丘陵部の方が平地部より小さくなる結果を示している⁶⁾。このような結果の得られた原因の一つとしては、当該地点の幾何構造条件での小型車類を基準とした *PCE* の推定方法にあると思われる。すなわち、すでに著者が報告したように道路上のある地点を通過する全ての車両は、当然のことながら、その地点の幾何構造の影響を受けることになる⁷⁾。そのため、小型車類についても厳しい幾何構造条件下では走行能力が低下しており、このような走行状態にある車種を基準とした場合には幾何構造の条件によっては上述したような矛盾した結果が得られることが推測でき

* 正会員 工博 武蔵工業大学助教授 土木工学科
(〒158 世田谷区玉堤 1-28-1)

** 正会員 工修 (株) パシフィックコンサルタンツ

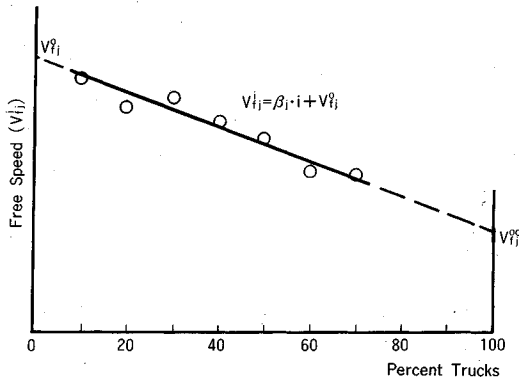


Fig.1 Conceptual Sketch of a Relationship Percent Trucks vs. Free Speed

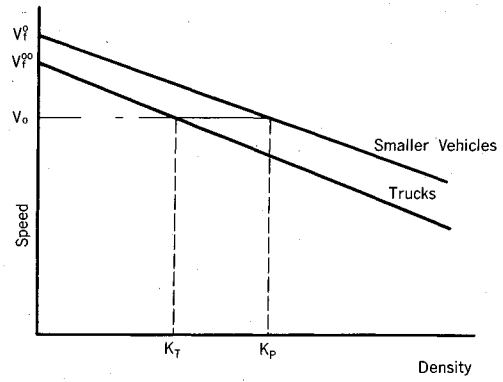


Fig.2 Conceptual Sketch of K-V Relationships for Trucks and Smaller Vehicles

る。このような矛盾を解消するためには、幾何構造の影響を考慮したPCEの推定方法が必要となる、というのが本研究の立場である。

本研究は、同一路線上で幾何構造の異なる地点において整合性のあるトラック類の乗用車換算係数の推定方法を提案することを目的として、①推定自由速度を用い、かつ交通処理能力を考慮した一つのPCE推定方法を提案すること、②幾何構造条件の影響を考慮するための補正方法を提案すること、及び③ここで示した論理を東名高速道路上で得られた多量かつ多地点のデータに適用して提案した論理の妥当性を検証すること、を記述したものである。

なお、ここで解析の対象とする交通状態はもっぱら非渋滞領域、とくに交通量水準としては交通量の少ない状態、換言すればサービス水準Aに相当する交通流である。推定のための前提条件としては、小型車類とトラック類との2車種だけを考え、かつ交通条件としては小型車類100%、トラック類100%で構成される交通流を想定している。推定に用いる状態量は、自由速度と道路の交通処理能力を表す交通量である。

2. 乗用車換算係数の推定方法

(1) 与えられた条件下での乗用車換算係数(P_j)

いま、解析の対象とする地点でのある車線のトラック類の混入率クラス(i=1, 2, ..., n)を考え、各混入率クラス別にQ-Vs相関式(直線回帰)を求めておく。この相関式からは、混入率クラス別の自由速度(V_{fj}:i=混入率クラス,j=地点)を推定することができる。なおこの時、推定された自由速度の信頼性を確保するために、回帰に用いるデータサイズは十分な大きさであることに留意する必要がある。このようにして求められる推定自由速度(V_{fj})をy軸にとり、iをx軸とする相関図を作成し回帰直線を求める(Fig.1)。

$$V_{fj} = \beta_j \cdot i + V_{fj}^0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、β_j=回帰係数

V_{fj}⁰=混入率ゼロでの自由速度

この回帰直線からi=0% (小型車類のみ) 及びi=100% (トラック類のみ) での自由速度(V_{fj}⁰, V_{fj}¹⁰⁰)を求める。このようにして推定されたV_{fj}⁰及びV_{fj}¹⁰⁰については、とくに実際の交通流に関して次のような点に留意する必要がある。すなわち、積荷を満載したトラック類の混入が多い方向(生産地から消費地へ向かう方向)では、トラック類の走行能力が低下していることから、混入率別に推定された自由速度V_{fj}⁰はより低めに推定されるであろうし、逆に荷降を済ませた空荷のトラック類の多い方向(消費地から生産地へ向かう方向)については、V_{fj}⁰はより高めに推定されることになる。その結果、式(1)から推定されるV_{fj}⁰及びV_{fj}¹⁰⁰の値もまたトラック類の走行能力の影響を受けていることになる。

この結果から、ある任意の道路区間(L)を自由速度で走行する小型車類とトラック類との旅行時間比は以下のようなになる。

トラック類の平均旅行時間:

$$T_j^{100} = \frac{L}{V_{fj}^{100}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

小型車類の平均旅行時間:

$$T_j^0 = \frac{L}{V_{fj}^0} \quad \dots \dots \dots (3)$$

である。よって2つの車種間の旅行時間比(t_j)は、

$$t_j = \frac{T_j^{100}}{T_j^0} = \frac{L}{V_{fj}^{100}} \bigg/ \frac{L}{V_{fj}^0} = \frac{V_{fj}^0}{V_{fj}^{100}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となる。このt_jは式からも明らかのように、2つの車種の自由速度のみに依存して定まるものである。

一方、道路の交通処理能力は交通量の大小をもって表されるのが一般的である。そのため、本研究では乗用車換算係数の推定にあたっては対象となる道路の交通処理能力も考慮する必要があると考える。

いま、小型車類のみの交通流とトラック類のみの交通

流を考える。これら2つの交通流の $K-V_s$ 相関を模式的に図示すると Fig. 2 のように表すことができる。この図に示された関係から、同一の速度 ($V_p = V_T = V_0$) で流れるそれぞれの交通流の交通量は、 $Q_p (= V_p K_p)$ と $Q_T (= V_T K_T)$ となる。この時の交通処理能力の比を O_j とし、次式のように定義する。いま、 L_T をトラック類の相対平均車長、 L_p を小型車類の相対平均車長とすると、

$$O_j = \frac{Q_p}{Q_T} = \frac{V_p K_p}{V_T K_T} \dots\dots\dots (5)$$

一方、 $K_p = 1/L_p$ 、 $K_T = 1/L_T$ であるから、

$$O_j = \frac{V_p}{V_T} \cdot \frac{L_T}{L_p} = \frac{L_T}{L_p} \dots\dots\dots (6)$$

($\because V_p = V_T$)

なお、相対平均車長とは、ある速度で走行している車両が道路上を占有する見掛け上の車長と定義する。

以上のようにして求められた、旅行時間比と交通処理能力比とを用いて、当該地点(区間)におけるトラック類の乗用車換算係数 (P_j) を両者の積として以下のように定義する。

$$P_j = t_j \cdot O_j = \frac{V_j^0}{V_j^{00}} \cdot \frac{L_T}{L_p} \dots\dots\dots (7)$$

この式(7)は、Huber³⁾ が等平均旅行時間を基準として導いた乗用車換算係数の推定式と同一である。

(2) 幾何構造の影響を考慮するための補正と乗用車換算係数 (PCE) の推定

もし、各車種の相対平均車長の比 (L_T/L_p) が速度によって変化しないものとするならば、与えられた道路条件下での乗用車換算係数 (P_j) は式(7)からも明らかのように単に車種間の速度比にのみ依存して決まることになる。しかし、幾何構造条件はそこを通過する交通流に影響を及ぼすことが知られている⁷⁾。前節で求めた P_j を考えると、厳しい幾何構造条件で求められる車種間の旅行時間比は、 V_j^0 及び V_j^{00} が共に低い値をとることが考えられるから⁷⁾、旅行時間比だけで決定される P_j は良好な幾何構造条件下でのものと等しいかあるいは場合によっては小さい値となることが考えられる。このことは、HCM に示されている PCE の性質から考えても矛盾したものとなる。そこで、幾何構造の影響を考慮した補正を考える必要がある。本研究では、幾何構造は速度にのみ影響するという立場をとって以下のような補正方法を提案する。

まず、出現した V_j^0 の最も高い速度クラスを選びだし、この速度クラスの交通流を幾何構造の影響をほとんど受けていない基準地点の速度とする。この速度クラスの平均値を V_j^0 とする。また、この速度クラスで求められている P_j の平均値を PCE_b と定義し、この値を基準となる地点群の乗用車換算係数とする。その他の速度クラスに分類された V_j^0 の各速度クラス (l) 毎の平均値を

V_j^0 とする。補正係数は、これらの速度クラスでの平均値を用いることで次のように定義する。

$$\eta_l = \frac{V_j^0}{V_j^0} \dots\dots\dots (8)$$

よって、推定しようとする各速度クラス毎の乗用車換算係数 (PCE_l) は、この補正係数を用いることで次のように定義できる。

$$PCE_l = \eta_l \times PCE_b \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 PCE_b : 基準となる速度クラスでの乗用車換算係数の平均値

PCE_l : 速度クラス l での乗用車換算係数

この結果得られる速度クラス毎の PCE_l は、幾何構造の影響を受けない地点(あるいは区間)群の小型車類を基準とした乗用車換算係数となる。

3. 検証資料の概要と解析対象地点の抽出

(1) 使用した資料の概略

本研究で用いたのは、東名高速道路2車線区間の約47 km (36 km 地点付近から83 km 地点付近) 区間の上下線の各車線に埋設されている車両感知器から収集した交通流データである。この区間には、上りで24地点、下りで25地点に車両感知器が設置されている。これらの車両感知器から得られる情報は、5分間毎の交通量 (Q)、トラック類(車長約5.5 m以上) 交通量、空間平均速度 (V_s) 及び時間占有率 (O_{cc}) であり、これらの情報は磁気テープ (MT) 上に収録されている。ここで利用したデータは、1990年4月1日から9月30日までの6ヶ月間のものである。データは、平日(火、水、木)の各曜日全72日間と休日(日、祭日及びお盆の期間全37日間)とに分類した。さらに、平休日を時間帯によって昼間(7:00~17:00)と夜間(0:00~5:00及び19:00~0:00)とに分類した。データをこのように細分類したのは、曜日及び時間帯によって車種の構成が異なっており、その結果出現する交通流の性質に差異のあることが事前に判明したためである⁸⁾。

解析対象区間の幾何構造については、車両感知器データとは別途入手した。この資料から、車両感知器設置地点における勾配及び半径並びに感知器設置地点の上流に存在するサグあるいはクレストまでの距離を求めた。なお、半径については車両感知器設置地点が円曲線上でない場合は当該地点の直近上流の円の半径を利用した。また、サグとクレストからの距離は、下り勾配から上り勾配へ変化する縦断曲線の底部/上り勾配から下り勾配へ変化する縦断曲線の頂部地点からの距離を用いている。

(2) トラック混入率別の自由速度の推定

上述したように、本研究では非渋滞領域の交通流だけを解析の対象としている。このため、先ず得られた交通流データを非渋滞領域と渋滞領域とに分類することが必

Table 1 An Example of V_j^0 , V_j^{90} , P_j , Regression Coefficient and Result of F-test at Each Detector Station
(Direction for Nagoya, Shoulder Lane, Daytime)

	地点 (km)	回帰の 対象とした サンプル数	回帰係数	回帰係数 の有意性	決定係数 (R^2)	V_j^0 (km/h)	V_j^{90} (km/h)	$P =$ (V_j^0/V_j^{90}) $\times (L_T/L_P)$
1	36.75	7	-0.410	**, *	0.8992	116.3	75.3	2.89
2	38.75	7	-0.334	**, *	0.9478	112.1	78.7	2.66
3	41.08	7	-0.441	**, *	0.9059	115.2	71.1	3.04
4	42.08	7	-0.460	**, *	0.9702	120.0	74.0	3.04
5	43.95	7	-0.336	**, *	0.9301	113.4	79.8	2.66
6	45.95	7	-0.340	**, *	0.9610	112.3	78.3	2.68
7	46.94	7	-0.505	**, *	0.9589	129.7	79.2	3.08
8	49.50	6	-0.364	**, *	0.9215	100.3	63.9	2.94
9	51.69	7	-0.284	**, *	0.8886	108.5	80.1	2.53
10	53.48	6	-0.263	**, *	0.9173	97.8	71.5	2.57
11	55.56	7	-0.478	**, *	0.9679	111.6	63.8	3.28
12	57.31	7	-0.187	**, *	0.9302	103.5	84.8	2.29
13	58.29	7	-0.002	有意でない	0.0007	93.9	93.7	—
14	60.29	6	-0.433	**, *	0.9578	122.3	79.0	2.91
15	62.94	6	-0.291	**, *	0.9711	111.1	82.0	2.53
16	64.49	7	-0.364	**, *	0.9206	109.5	73.1	2.81
17	66.48	7	-0.363	**, *	0.9170	110.7	74.4	2.79
18	67.60	7	-0.485	**, *	0.9930	114.8	66.3	3.24
19	70.50	6	-0.265	**, *	0.9362	88.9	62.4	2.66
20	72.51	7	-0.353	**, *	0.9750	115.8	80.5	2.70
21	74.71	6	-0.296	**, *	0.9534	106.0	76.4	2.61
22	76.59	7	-0.358	**, *	0.9351	119.0	83.2	2.68
23	78.50	5	-0.244	**, *	0.9891	89.6	65.2	2.57
24	81.69	8	-0.424	**, *	0.9690	120.4	78.0	2.89
25	82.90	5	-0.472	**, *	0.9423	117.7	70.5	3.13

** : 高度に有意 (1%の有意水準)
* : 有意 (5%の有意水準)
 L_T/L_P : 1.88と仮定

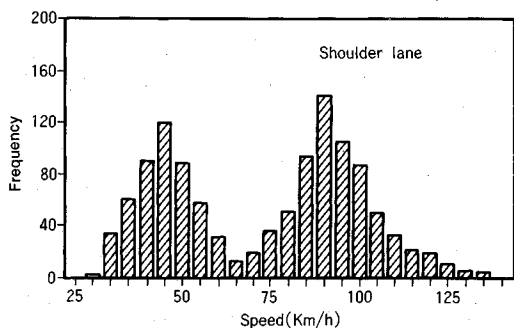


Fig.3 An Example of Speed Distribution at a Detector Station on the Tomei Expressway

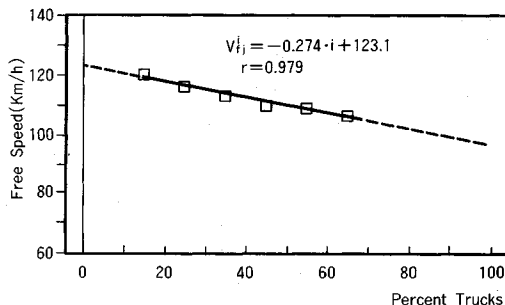


Fig.4 A Relationship Percent Trucks vs. Free Speed (Median Lane, Daytime)

要である。そのため、ここでは全ての地点について速度分布 (Fig.3) を作成し、これに対して既存の閾値判別法⁹⁾を適用して境界速度を推定した。求められた境界速度は同一の車線については方向別、地点別に大きく変化するものではなかった。そのため、走行車線では 60 km/h、追越し車線では 70 km/h を全地点共通の境界速度として採用することとした⁹⁾。これらの境界速度を利用して非渋滞領域のデータを抽出するとともに、5 分間交通量毎にトラック混入率を算出した。トラック混入率を 10% 毎のクラスに分類し、各混入率クラス毎の $Q-V_j$ 相関図を作成した。ついで各 $Q-V_j$ 相関データを用いて回帰式 (直線式) を推定し、混入率クラス毎の自由速度 (V_j^0 : i =混入率クラス, j =地点) を車線別に推定した。なお、混入率クラス毎の推定自由速度の信頼性を考慮して、各混入率クラス毎のデータ数は 200 以上のケースだけを対象とし、それ以下のデータ数のものは除外した。

ここで得られた各混入率クラス毎の自由速度 (V_j^0) を y 軸にとり、 x 軸にとった混入率との関係から直線回帰式を推定し、これを用いてトラック類の混入率 0% 及び 100% での自由速度 (V_j^0 と V_j^{90}) を推定した。

以上のような手順を踏んで、平休日別、昼夜別の V_j^0 と V_j^{90} とを車線毎に求めた。Fig.4 には結果の一例を示してある。また、Table 1 には、データ数の多かった下り方向の平日昼間の走行車線における V_j^0 と V_j^{90} 及びその他の指標の一覧を例示してある。

(3) 解析対象地点の抽出

上述のように平休日、昼夜別に車線毎のトラック混入率と推定自由速度との相関式を求めたのであるが、時間帯によってはトラック類が特定の混入率に集中しサンプル数が少なくなり回帰の対象にすることができないケースが存在した。このようなケースは、とくに休日の昼間に多いことが指摘できる。また、回帰式を求めることの

Table 2 Number of Available Samples on the Tomei Expressway

	走 行				追 越			
	平 日		休 日		平 日		休 日	
	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜
上り	○ (12)	○ (7)	* (13)	○ (14)	○ (23)		* (20)	○ (20)
下り	○ (24)	○ (19)	* (25)	○ (20)	○ (24)		* (24)	** (24)

○ : 解析対象ケース及び(地点数)
 * : 解析対象外(回帰のためのサンプル数の少ないケース)
 ** : 解析対象外(有意な回帰係数の得られなかったケース)

Table 5 Classification of Free Speed

クラス(I)	速度範囲(km/h)
A	$V_0 \geq 120$
B	$120 > V_0 \geq 110$
C	$110 > V_0 \geq 100$
D	$100 > V_0$

Table 3 Geometric Factors and Estimated Free Speeds V_f^0 at Each Detector Station (Direction for Tokyo)

	地 点 (km)	勾 配 (%) +: 上り -: 下り	サグ(S)/ Crest(C) からの距離 (m)	半 径 (R) (m)	走 行			追 越		
					平 日		休 日	平 日		休 日
					昼	夜	夜	昼	夜	夜
1	35.74	-1.1	C 486	4000	D	D	C	B	B	A
2	37.75	-0.4	C 396	4000	B	—	C	A	B	A
3	39.73	-2.0	C 1996	3000	C	C	C	A	A	A
4	42.08	0.9	S 2726	3000	B	—	C	A	A	A
5	43.95	1.4	S 136	5000	—	—	C	B	B	B
6	45.97	-0.2	C 4976	4000	C	C	C	B	B	B
7	47.95	-1.3	C 2996	2500	C	—	—	B	A	B
8	50.71	-0.9	C 236	2000	—	C	B	B	B	B
9	51.69	0.3	S 1106	1500	C	—	—	C	B	B
10	52.69	4.8	S 106	550	—	—	C	—	B	B
11	54.58	-2.7	C 1766	1200	—	—	C	—	—	—
12	56.31	-3.0	C 36	1200	—	—	—	C	C	C
13	60.13	-1.0	C 89	1200	—	C	D	—	B	C
14	62.63	1.3	S 116	900	—	C	—	—	B	C
15	64.41	-3.1	C 4573	600	—	—	—	—	B	C
16	66.41	-2.2	C 2571	400	C	—	—	—	C	C
17	69.50	0.5	S 1086	400	C	—	—	—	C	C
18	70.43	0.3	S 158	400	C	—	—	—	C	C
19	72.52	-1.1	C 2416	300	C	—	—	C	B	—
20	74.75	-2.9	C 1057	600	C	—	—	B	B	B
21	76.59	0.8	S 513	1000	—	—	—	B	B	B
22	78.49	-4.0	C 2217	1000	—	C	—	B	B	A
23	80.13	-2.3	C 579	1300	—	—	—	—	A	A
24	81.87	-1.5	C 2337	2000	—	—	—	B	A	—

A : $V_f^0 \geq 120$ (km/h) B : $120 > V_f^0 \geq 110$ (km/h) C : $110 > V_f^0 \geq 100$ (km/h) D : $100 > V_f^0$

Table 4 Geometric Factors and Estimated Free Speeds (V_f^0) at Each Detector Station (Direction for Nagoya)

	地 点 (km)	勾 配 (%) +: 上り -: 下り	サグ(S)/ Crest(C) からの距離 (m)	半 径 (R) (m)	走 行			追 越	
					平 日		休 日	平 日	
					昼	夜	夜	昼	夜
1	36.75	-0.5	C 524	2320	B	—	C	B	B
2	38.75	-0.6	C 604	4000	B	—	C	A	B
3	41.08	1.9	S 1734	3000	B	C	D	B	B
4	42.08	-0.9	C 374	3000	A	C	C	A	B
5	43.95	-1.4	C 2224	5000	B	C	C	A	B
6	45.95	0.2	S 1864	4000	B	C	D	B	C
7	46.94	0.3	S 2854	4000	A	—	B	—	B
8	49.50	3.2	S 5414	3000	C	D	D	B	C
9	51.69	-0.3	C 744	2000	C	C	C	B	C
10	53.48	3.4	S 684	550	D	D	D	C	C
11	55.56	3.0	S 1374	1200	B	B	D	B	C
12	57.31	-1.7	C 964	1000	C	B	C	B	B
13	58.29	-1.7	C 1954	1500	—	—	D	—	B
14	60.29	-3.1	C 25	1200	A	—	C	—	B
15	62.94	1.6	S 154	900	B	B	B	A	B
16	64.49	4.0	S 1704	500	C	B	C	—	C
17	66.48	2.4	S 3694	400	B	—	D	B	C
18	67.60	2.4	S 4814	750	B	C	C	B	C
19	70.56	3.3	S 64	400	D	—	D	D	D
20	72.51	0.5	S 2054	1860	B	B	C	B	B
21	74.71	3.0	S 4154	310	C	C	D	—	—
22	76.59	-0.8	C 824	1010	B	—	C	A	B
23	78.50	4.0	S 1394	1220	D	—	D	B	C
24	81.69	-0.8	C 294	2000	A	B	B	A	B
25	82.90	1.7	S 1294	3800	B	—	C	A	C

A : $V_f^0 \geq 120$ (km/h) B : $120 > V_f^0 \geq 110$ (km/h) C : $110 > V_f^0 \geq 100$ (km/h) D : $100 > V_f^0$

できたケースについても、回帰係数及び自由速度が異常な振る舞いを示すものも出現した。そこで、求められた全ての回帰式について、回帰係数の有意性の検定（ F -検定：1% 及び5% の有意水準）を行い、解析対象となる地点及び車線を抽出した。結果を **Table 2** に示す。解析の対象にならなかった地点が存在する原因については、上述した休日のトラック類の混入率の偏りを除いては不明である。これは本研究のように車両感知器データだけを用いた解析の限界であると言える。このため、本研究では推定した各回帰式について統計的検定を行い、有意な結果を示した地点についてのみ解析の対象としたのである。この点については、実流を観測することでより詳細な交通現象を追及してゆくことが必要となる。

Table 2 中の地点数からもわかるように、解析対象となったケース中にも回帰係数が有意でないものもあり（**Table 1** 参照）、これらの地点については解析から除外している。

(4) 推定自由速度 (V_f^0) の特徴

Table 3 と **Table 4** とには上述のようにして推定したトラック混入率0%での自由速度 (V_f^0) と解析の対象とした全ての各車両感知器設置地点での勾配、曲線半径及びサグあるいはクレストからの距離を示している。なお、これらの表には **Table 5** に示すような自由速度のクラスを英字を用いて表現している。

これらの表から自由速度と幾何構造要因との関係について以下のような特徴を指摘できる。

平日昼夜間の走行車線に着目すると、上り方向の方が下り方向に比べ相対的に低い値となっている。ことに、上りについては勾配が負（下り坂）の地点についても複数の地点で速度ランクが $C(110 > V_f^0 \geq 100 \text{ km/h})$ となっている点が特徴的である。このように方向によっても車線によっては推定された V_f^0 に差の生ずる原因の一つには2.(1)で述べたように、トラック類の載貨状態の違いによる走行能力の差が関係していると考えてよいであろう。一方、下り方向の走行車線においても周辺の地点に比べ V_f^0 のランクの低い（平日の昼夜に限定した場合、ランク D ）地点が散見される。これらの地点に共通していることは、全ての地点が登り勾配で、かつ勾配の大きさが3%あるいはそれ以上となっている（地点No.8, 10, 19及び23）点である。また、これら4地点のうち3地点では曲線半径が550m以下である点も共通している。このように自由速度 V_f^0 は車両の走行能力だけでなく幾何構造要因によっても影響を受けることがわかる⁷⁾。

平日昼夜間の追越し車線に着目すると、両方向での V_f^0 の差は走行車線程には明瞭になっていない。上り・下り方向ともに、 V_f^0 のランクの低い（ここでは C 及び D を対象とする）5地点（上り：No.12, 17及び18；下

Table 6 Average P_f for Each Speed Class (Direction for Tokyo)

			$V_f^0 \geq 120$ (km/h)	$120 > V_f^0 \geq 110$ (km/h)	$110 > V_f^0 \geq 100$ (km/h)	$100 > V_f^0$ (km/h)
走 行	平 日	サンプル数	—	2	9	1
		平均速度 (km/h) P_f	—	112.4 2.26	105.7 2.23	95.6 2.12
	休 日	サンプル数	—	—	6	1
		平均速度 (km/h) P_f	—	—	104.1 2.44	93.1 2.10
	休 日	サンプル数	—	1	10	2
		平均速度 (km/h) P_f	—	112.7 2.25	106.2 2.12	97.3 1.99
追 越	平 日	サンプル数	3	9	2	—
		平均速度 (km/h) P_f	121.7 2.14	115.4 2.03	104.8 2.08	—
	休 日	サンプル数	5	14	4	—
		平均速度 (km/h) P_f	121.6 2.21	114.6 2.12	104.1 2.08	—
	休 日	サンプル数	2	13	2	—
		平均速度 (km/h) P_f	122.6 2.06	115.3 2.06	103.8 2.10	—

り：No.10及び19)のうちの3地点は上り勾配が大きい(3%以上)かあるいは曲線半径が小さい(400m以下)地点であり、既に公表した研究⁷⁾の妥当性を裏付けている。これら地点の幾何構造条件よりも良好であるにもかかわらず速度ランクの低い他の2地点(上り方向No.12と17)については以下のような説明が可能である。すなわち、No.12は下り勾配(-3%)ではあるが、この地点はクレストから36m下流の地点であり、かつこのクレスト頂部までは約3kmの登坂車線を有する長い登り勾配が続いている区間となっている。このため、この地点で計測される交通流の速度は長い登り坂を走行してきた影響が強く現われる、と考えられる。また、No.17地点そのものは緩い登り坂(0.5%)ではあるが、この地点は都夫良野トンネル入口(ほぼ69.5kp)直近であり、長大トンネル入口の狭窄部の存在や暗部への進入による運転者の速度調整への心理的な影響からくる減速⁹⁾を直接受けた結果であると理解できる。

4. 東名高速道路の乗用車換算係数推定とその特性

(1) 各地点の乗用車換算係数 (P_f) の推定と補正係数の決定

各速度クラス毎の補正係数(η_i)を求める前に前章(2)で推定した V_f^0 と V_f^{90} 及び各車種の相対平均車長とを用いて各地点における乗用車換算係数 $P_f = (V_f^0 / V_f^{90}) \cdot (L_T / L_p)$ を求めた (**Table 1** 参照)。なお、ここでは車両感知器による車種判別の閾値(5.5m)と当該路線のトラック混入率とを考慮して L_T / L_p の値として1.88を仮に用いることとした。

次いで、各地点の V_f^0 に着目し、これらの速度と P_f とを **Table 5** に示す速度クラスに分類した。この分類にしたがって、各速度クラス毎のサンプルの平均速度と平均 P_f とを算出する。各ケース毎の平均速度と P_f とを **Table 6** と **Table 7** とに示した。この結果によれば、各速度クラス毎の P_f は上りと下りとでやや異なっているようである。上りの走行車線では、ほぼ2.0から2.3、

Table 7 Average P_i for Each Speed Class (Direction for Nagoya)

			$V_i^? \geq 120$ (km/h)	$120 > V_i^? \geq 110$ (km/h)	$110 > V_i^? \geq 100$ (km/h)	$100 > V_i^?$ (km/h)
走 行	平 日	サンプル数	4	12	5	3
		平均速度 (km/h) P_i	123.1 2.98	114.2 2.85	105.6 2.64	92.1 2.61
	夜	サンプル数	—	6	9	4
		平均速度 (km/h) P_i	—	112.1 2.59	105.1 2.38	93.7 2.34
	休 日	サンプル数	—	3	12	10
		平均速度 (km/h) P_i	—	111.8 2.57	103.7 2.34	94.2 2.34
追 越	平 日	サンプル数	8	10	1	1
		平均速度 (km/h) P_i	122.6 2.36	117.2 2.42	108.1 2.38	89.7 2.64
	夜	サンプル数	—	13	10	1
		平均速度 (km/h) P_i	—	113.6 2.06	106.3 2.12	82.9 2.12

追越し車線ではほぼ2.1で比較的バラツキが少なく、かつ車線間の差も小さい傾向を示している。一方下り方向については、走行車線で2.3から3.0であり、追越し車線ではほぼ2.1から2.6となっている。車線間の P_i の差は、下り方向の方がやや大きくなっている。いずれの方向についても、走行車線では、本報の頭初に述べたように、 P_i の値は速度の高いほうが大きく、低い速度では小さくなるという傾向を示している。しかし、一方で追越し車線では走行車線とは逆の傾向を示している。このように、速度クラス毎の平均 P_i は必ずしも安定した傾向を示しているとはいえずにないことが解る。試みに各ケースの最高速度クラスの P_i を基準として、各速度クラス毎の P_i との差の有意性検定 (t -検定) を実施したところ、全ての組合せ17個 (サンプル数1のものは除く) のうち11個の組合せについては有意差がない結果を示し、有意な差を示したものは6個の組合せ (5%水準で3組, 1%水準で3組) という結果が得られた。このように、ケース毎の各速度クラス別に求めた P_i は統計的に安定したものであるとはいえずにない。これは、地点毎の推定自由速度が、各速度クラスの平均速度が各クラス間でほとんど全て有意差が認められた (t -検定) こととは対照的な結果であった。

推定自由速度は、各地点の幾何構造条件に影響を受けている⁷⁾ のであるから、速度クラス毎に推定される地点での乗用車換算係数の平均値 (P_i) もまた影響されると考えるのは無理のない前提であろう。そこで幾何構造の影響を考慮するために2章の(2)で述べた方法によって各ケース別に速度クラス毎の補正係数 $\eta_i (= V_i^? / V_i^?)$ を求める。ここで $V_i^?$ は各ケースで出現している最も高い速度クラスの平均値であり、 $V_i^?$ は当該ケースでの各速度クラスの平均値である。なお、サンプル数1のものについても補正係数を求めてある。また、同一方向、同一車線に含まれるケースで出現最高速度クラスが他のケースよりも低いものについては、当該車線で出現した最高速度クラスの平均値を基準とした補正係数も求めてある。

Table 8 Estimated PCE Values for Each Speed Class (Direction for Tokyo)

			$V_i^? \geq 120$ (km/h)	$120 > V_i^? \geq 110$ (km/h)	$110 > V_i^? \geq 100$ (km/h)	$100 > V_i^?$ (km/h)
走 行	平 日	η	—	1.00	1.06	1.18
		PCE	—	2.26	2.40	2.67
	夜	η	—	—	1.00(1.08)	1.12(1.21)
		PCE	—	—	2.24(2.44)	2.51(2.71)
	休 日	η	—	1.00	1.06	1.16
		PCE	—	2.29	2.43	2.66
追 越	平 日	η	1.00	1.05	1.16	—
		PCE	2.14	2.45	2.48	—
	夜	η	1.00	1.06	1.17	—
		PCE	2.21	2.34	2.59	—
	休 日	η	1.00	1.06	1.13	—
		PCE	2.06	2.18	2.48	—

() : 当該車線の出現最高速度クラスの平均値を基準とした場合

Table 9 Estimated PCE Values for Each Speed Class (Direction for Nagoya)

			$V_i^? \geq 120$ (km/h)	$120 > V_i^? \geq 110$ (km/h)	$110 > V_i^? \geq 100$ (km/h)	$100 > V_i^?$ (km/h)
走 行	平 日	η	1.00	1.08	1.17	1.34
		PCE	2.98	3.22	3.49	3.99
	夜	η	—	1.00(1.10)	1.07(1.17)	1.20(1.31)
		PCE	—	2.59(3.28)	2.77(3.49)	3.11(3.90)
	休 日	η	—	1.00(1.10)	1.08(1.19)	1.10(1.31)
		PCE	—	2.57(3.28)	2.78(3.55)	2.83(3.90)
追 越	平 日	η	1.00	1.05	1.13	1.37
		PCE	2.36	2.48	2.67	3.23
	夜	η	—	1.00(1.08)	1.07(1.15)	1.37(1.48)
		PCE	—	2.06(2.55)	2.53(2.71)	3.23(3.49)

() : 当該車線の出現最高速度クラスの平均値を基準とした場合

(2) 推定された乗用車換算係数 (PCE_i) の特徴

上述のようにして算出した各ケース毎の速度クラス別の補正係数 η_i を用いて各速度クラス毎の乗用車換算係数 (PCE_i) を求めた結果を **Table 8** と **Table 9** とに示した。なお、表中に () で示した補正係数と PCE_i は、同一車線の他のケースで出現している最高速度クラスの平均値を用いて算出した値である。

Table 8 と **Table 9** に示した推定結果から、以下のよう特徴を指摘できる。

① 両方向・両車線ともに、速度が低くなるほど PCE の値は相対的に大きくなることからわかる。このことは、自由速度の低い地点の多くが登り勾配が大きくかつ/あるいは曲線半径が小さい地点であることから、これらの地点でのトラック類は当該地点の幾何構造影響をより強く受け、自由速度の高い地点に比べ PCE が大きくなると理解でき、妥当な結果であるといえる。

② 同一方向の同一車線において出現した最高速度クラスの平均速度 (上り走行車線では $120 > V_i^? \geq 110$, 下り走行車線及び追越し車線では $V_i^? \geq 120$) を基準として推定した PCE (表中の () 書きの値) を比較すると、平日と休日及び昼間と夜間との値の間にはほとんど差が認められそうにない。これは、出現最高速度クラスが全てのケースで等しい上り追越し車線 (**Table 8**) の結果からみても妥当な結果であるといえる。このことから見

て、東名高速道路の交通流は平日・休日を通じて質的には相対的に大きく異なっていないと考えてよいであろう。

③ 下り方向 (Table 9) に着目すると、走行及び追越し車線ともに出現した最高速度クラスは同一である。このことから、両車線の各速度クラスの PCE を比較すると、全ての速度クラスで走行車線の方が追越し車線よりも大きな値となっている。このことは、負荷が大きき走行能力の低いトラック類の多くが走行車線を走行していることから考えて妥当な関係である。

④ 追越し車線については、両方向共通の速度範囲(平日昼夜、 $V_f^p \geq 120$ から $110 > V_f^p \geq 100$) で比較すると、 PCE の値は下り方向の方が上り方向に比べやや大きな値を採ることがわかる。このことはトラック類と小型車類の走行能力の見掛け上の差が下り方向の方がより大きいことを意味している。このような結果については次のような理由が考えられる。 PCE 推定に用いられている V_f^p 、 V_f^o が、2.(1) で述べたようにトラック類の混入率だけでなく走行能力にも影響を受けているのであるから、負荷の大きなトラック類の混入の多い上り方向の小型車類の速度もまたトラック類に影響される。その結果、推定された V_f^p は Table 3 と Table 4 に示されているように上り方向の方が下りに比べ相対的低い値となる。しかし、一方で上りと下りとで推定された V_f^o の両方向で差は V_f^p の差ほど大きくはない。その結果、推定された PCE の値は見掛け上下り方向の方が上り方向よりも大きくなるのである。

5. まとめと今後の課題

本研究は、長い路線長を有する一本の高速道路を想定して、当該路線中に存在する各種の幾何構造条件の下において整合性のあるトラック類の乗用車換算係数を推定するための一方法を提案したものである。本研究では交通量水準の低い(サービス水準 A を想定)交通流状態を考え、小型車類だけで構成された交通流を基準とし、トラック類 100% の交通流を比較の対象として PCE を求めたものである。

その方法は、まずトラック類の混入率別の $Q-V_f$ 相関図から推定された自由速度を用いて、混入率 0% 及び 100% での推定自由速度を求めるとともに、当該地点における交通処理能力を考慮した乗用車換算係数の推定方法を示した。

次いで、出現最高速度クラスの交通流をもって幾何構造条件の影響を受けない交通流(これを平地部の交通流と考える)と仮定し、この交通流を基準とした各速度クラスの交通流に対する補正係数算出方法を提案した。

最後に、基準となる交通流で推定した乗用車換算係数と補正係数とを用いることで、平地部の交通流を基準と

した各速度クラス毎の乗用車換算係数が推定できることを示した。このような補正を行うことで、一本の高速道路上の様々な幾何構造条件の下で論理的に整合の取れた乗用車換算係数の推定が可能であることを示すことができた。

後半部分では、上記の論理を東名高速道路の多数の地点から収集された多量のデータに適用し、各地点の自由速度と速度クラスごとの乗用車換算係数を求めた。その結果、本研究で提案した PCE の推定方法が妥当なものであることを示すことができた。加えて、今回本研究で使用したデータの範囲内で以下のような知見を得ることができた。

① 走行車線では、上り方向の方が下り方向よりも相対的に低い自由速度となる地点が多い。このことは、幾何構造要因の影響もさることながら、負荷状態の大きなトラック類(生産地から消費地である東京圏への物資輸送車)の混入の多さに影響された結果であると考えられる。このことは、車両感知器設置地点の条件で、登り勾配部や小さな曲線半径部に設置されているケースの割合が下り方向の方が多いにもかかわらず、推定された自由速度は上り方向の方が低い値を示す地点の数が多いことによっても裏付けられる理由の一つである。

② 各地点のデータから推定した走行車線の乗用車換算係数 (P_f) は速度が低くなるほど小さくなり、追越し車線ではその逆の傾向を示す結果となった。このことは、地点の交通流だけを対象にして推定される乗用車換算係数 (P_f) の推定値が必ずしも安定したものとならないことを意味している。

③ この不安定さを取り除くために、本研究で提案した推定論理を適用した結果以下のような知見を得た。

(a) 推定された PCE は自由速度によって変化することがわかった。この変化の仕方は自由速度のクラス平均値が低くなるほど PCE は大きくなることが知られた。

(b) 同一の出現最高速度クラスを有する下り方向の PCE を比較した場合、走行車線は追越し車線よりも大きな値をとることが認められた。しかし、上りについては出現最高速度クラスが両車線で異なるための比較することができなかった。

(c) 本解析で得られた各方向・各車線の自由速度クラスの範囲内で東名高速道路 2 車線区間の各車線の PCE として、概ね以下のような値を得た。

走行車線	上り	2.3~2.7 程度
	下り	3.0~4.0 程度
追越し車線	上り	2.1~2.6 程度
	下り	2.4~3.5 程度

本研究では交通量の低い状態におけるトラック類だけで構成された交通流を対象にして速度クラス別の *PCE* を推定したが、大型車の影響は交通量水準によっても異なることが考えられる。このため、今後の課題として交通量水準別の *PCE* を推定することも必要となろう。また、本研究では、交通処理能力を考えるにあたって対象となる車種の相対平均車長 (L_T, L_P) の比がトラック類の載貨状態の如何に係わらずどのような幾何構造条件のもとでも一定であると仮定した。この仮定が妥当であるか否かの検証についても今後の課題として残されよう。

謝辞：本研究をまとめるにあたり、多量のデータの使用許可と様々な資料を提供して頂いた日本道路公団東京第一管理局の関係各位に深謝の意を表する次第である。また、本研究を遂行するに際し学校法人五島育英会から研究奨励補助金を支給されたことを付記し感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) TRB : Highway Capacity Manual, TRR Special Report

No.209, 1985年.

- 2) R.P. Roess and Messer, C.J. : Passenger Car Equivalents For Uninterrupted Flow, Paper Presented at the 62 nd Annual Meeting of TRB, Washington, 1984年1月.
 3) M.J. Huber : Estimation of Passenger Car Equivalents of Trucks in Traffic Stream, TRR No.869, pp.60~70, 1982年.
 4) W.D. Cunagin and Messer, C.J. : Passenger Car Equivalents for Rural Highways, TRR No.905, pp.61~68, 1983年.
 5) 大蔵・片倉・平形 : 大型車の乗用車換算係数の推定, 高速道路と自動車, Vol. 34, No.11, pp.21~30, 1991年11月.
 6) 高田 祐 : 高速道路の交通流特性の解析, 武蔵工業大学修士論文, 1992年3月.
 7) 岩崎・渡辺・青山・吉住 : 車両感知器データを用いた都市間高速道路の交通流特性解析, 土木計画学研究・論文集, No. 8, pp. 153~160, 1990年11月.
 8) 大津 : 判別及び最小自乗基準に基づく自動しきい値選択法, 電子通信学会論文誌, Vol. 4, No. 4, 1980年.
 9) 越 : 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No. 371/IV-5, pp.1~7, 1986年7月.

(1992. 8. 7 受付)

A THEORY ON AN ESTIMATION OF PASSENGER CAR EQUIVALENTS AND ITS VERIFICATION

Masato IWASAKI and Yuu TAKADA

Passenger car equivalents reflect an effect of trucks to a highway capacity. A few studies propose an estimation of the *PCE* on expressways in Japan. However, effects of any geometric factors are not mentioned in these studies. The purpose of this study is to propose a theory on estimation of *PCEs* introducing an adjusting coefficient of an effect of some geometric factors existed on a long section of an expressway. Verification of this theory applying to the data collected from many detector stations setup about 47 km long section on the Tomei Expressway is also another objective of this study. The steeper the upgrades (>3%) and smaller the radii (<600 m) at the detector stations, the larger are the estimated *PCE* values. These expressway sections have lower free speeds and are also recognized capacity bottlenecks by many researchers.