

# 都市間高速道路の自由流における 大型車の交通流への影響分析

桑原雅夫\*・井料青海\*\*

本研究は、都市間高速道路自由流における大型車の交通流への影響を分析したものである。大型車の影響を表す指標である乗用車換算係数(PCE)について各種の定義について考察を行った上、等旅行時間基準に基づいて東名高速道路43地点の車両感知器データより、速度レベル別にPCE値を推定し、PCEの問題点を整理した。次に、ミクロ的な交通諸量が大型車混入率によってどのように影響を受けるのを見るために、交通量-速度-大型車混入率の関係を3次元曲面で表すことを試みた。さらに、曲面を表すパラメーターは、地点の道路線形、見通しに関する変数により、説明可能であることを示した。

**Key Words** : passenger car equivalence, intercity motorway, heavy vehicles.

## 1. はじめに

我が国における貨物輸送は、経済の急速な成長と社会の発展に伴い、年々増大している。貨物輸送を担う大型車は、乗用車と比較して速度性能や大きさという点で異なり、道路の交通容量等を求める際に、乗用車と同一に扱うことは甚だ不合理である。そこで何らかの補正が必要であり、そのために様々な状況下での交通流に対する大型車の影響分析が必要となってくる。我が国においてもこの種の分析が過去に行われているが、データの蓄積が不十分のため、道路構造や交通条件と関連づけるという点で未だ不確定な部分が多い。本研究では、都市間高速道路の自由流を対象とし、交通流への大型車の影響分析を行うこととする。

## 2. 各種の大型車の乗用車換算係数(PCE)

まず大型車の定義であるが、各法令ごとにそして目的に合わせて様々な定義がある。本研究では分析において東名高速道路の車両感知器データを用いるため、日本道路公団方式に基づき、車体長5.5m以上の車両を大型車とした。

このような大型車の影響を指し示す値として一般的に使用されているのは、大型車の乗用車換算係数(PCE: Passenger Car Equivalence)である。これは大型車一台が乗用車何台分に相当するかを示す補正值であり、以下で示すような種々の算定方法が提案されている。

このPCEという値によって、図-1における乗用車のみを基準交通流と大型車を含んだ混合交通流の速度-交通量関係式を関連づけることができる。例えば、すべて乗用車であるような交通流(基準交通流)の速度-交

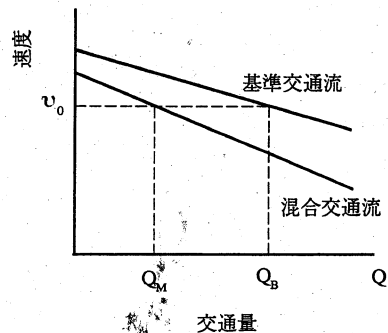


図-1 等旅行時間基準によるPCE算定方法

通量関係がわかっている場合に、PCEを用いてこの線を左にシフトさせることによって、ある割合の大型車を含む混合交通流の速度-交通量関係を推定することができる。つまり、PCEという概念は、混合交通流の速度-交通量(あるいは速度-密度)の関係を求めるための、わかりやすい簡単な指標として導入されてきたと言える。

またPCEの定義方法としては、現在までに大きく分けて以下のような6つの方法が挙げられる。それぞれの方法は、定義・PCE値・利用方法がワンセットであって、交通状況によっては不向きな方法もあるため、利用の際には目的に応じてPCE算定方法を選択することが必要である。

### (1) ミクロ的(微視的)算出方法

各々の車両ごとに、速度あるいは車頭距離等を個別に観測することにより、ミクロ的な視点に立ってPCEを算定する方法で、3つの方法がある。

#### ① 追越回数比基準

単位距離当りの乗用車による大型車の追越回数から、2車線道路上でのPCEを算定する方法で、戦前から用いられ、HCM 65<sup>1)</sup>におけるPCE値の算定にも使われ

\* 正会員 工博 東京大学生産技術研究所助教授  
(〒106 東京都港区六本木7-22-1)

\*\* 正会員 工修 (株)東日本旅客鉄道株式会社

たものである。別名 Walker Method<sup>2)</sup>と呼ばれている。サービスレベルごとに車の速度分布をあらかじめ定義しておき、この速度分布を持つ交通流内で単位距離 (1 km) 当りに起こる追越回数を求める。次にこの交通流に、ある速度を持つ大型車が含まれた場合に、この大型車が追越される回数を求め、両者の比を PCE とする方法である。

この方法では、隣接車線や対向車線の交通流とは独立に、設定された速度分布を維持しながら追越しができるものと仮定している点に問題がある。また、対象路線が 2 車線道路のみであり、大型車混入率が 20% 以上の状況についても一切扱っていない等、不十分な点もある。さらに、ここで定義された追越回数の比が、如何なる理由から PCE 値として適切なのか、その関連性が希薄である。

#### ② 遅れ比基準

対向交通が存在する場合には、設定された速度を維持しながらの追越が不可能なことがある。この点を考慮し、Walker Methodの追越し回数に加えて、追越できずに低速で走行している間の遅れも考慮しながら、PCE を決定する方法である<sup>3),4)</sup>。

この方法は、隣接車線や対向車線の交通流の影響を考慮していないという追越回数比基準の欠点を補うものであるが、追越回数比と同様に 2 車線道路を対象としており、多車線道路における PCE 分析には不適切であると考えられる。

#### ③ 平均車頭時間比基準

前方車と後方車の車種別に平均車頭 (あるいは車尾) 時間を比較することによって PCE を算定する方法である<sup>5),6)</sup>。この方法は、信号交差点や渋滞先頭からの発進流などのように、前・後車がお互いに影響を及ぼしあって走行している状況においては、有効な方法である。しかし、交通量の比較的少ない自由流状態においては、必ずしも上記のような走行状態にないことから、自由流における PCE 算定には適当ではない。

#### (2) マクロ的 (巨視的) 算出方法

車両感知器データをもとに、交通流全体の速度・交通量・密度・大型車混入率の関係から PCE を算定する方法であり、サービスレベルの定義により 3 つの方法がある。

#### ④ V/C 比 (交通量/容量比) 基準

サービスレベルを大型車を含んだ混合交通の交通量と交通容量の比 (V/C 比) によって定義し、ある一定の V/C 比のもとで流れる乗用車だけの基準交通流の交通量と、大型車を含んだ混合交通流の交通量との比を PCE とする方法である。実際にこれらの交通量を求めるには、MRI (Midwest Research Institute) が開発したシミュレーションモデルを用いて、種々な大型車混

入率別に速度-交通量関係を求めておき、この結果から任意の V/C 比における基準・混合交通流の交通量を求めている<sup>7)-9)</sup>。

なお、この方法は HCM85<sup>10)</sup>のもとになったものであり、各種の道路線形 (勾配値、レーン数、設計速度等) ごとに MRI モデルを適用して PCE を算定している。

問題点としては、サービスレベルと定義された V/C 比は、走行速度や旅行時間と異なり利用者側から見たサービスレベルとは直接的ではないことがあげられる。また、求められた PCE 値は、MRI シミュレーションモデルの精度に大きく関わり、適用範囲が限定されよう。

#### ⑤ 等旅行時間基準

この方法は、大型車を含んだ混合交通流は、乗用車だけの基準交通流に比べて、同程度の速度を実現するためには、少ない交通量でなければならないという性質に着目したものである<sup>6),11),12)</sup>。交通流の平均速度をサービスレベルと定義し、具体的には図-1において、混合交通流があるサービスレベル (速度)  $v_0$  を実現するために必要な交通量  $Q_M$  と、基準交通流がそのサービスレベルを実現するために必要な交通量  $Q_B$  の以下のような関係から、PCE を求めるものである。

$$Q_B = (1 - P_i) \cdot Q_M + P_i \cdot Q_M \cdot PCE, \dots \dots (1)$$

ここに、 $P_i$  = 大型車混入率,  $0 \leq P_i \leq 1$ 。

#### ⑥ 総旅行時間基準

等旅行時間基準と異なる点は、サービスレベルを交通流中の全車両が単位距離を移動する総旅行時間によって定義していることである<sup>6),13)</sup>。総旅行時間は平均速度の逆数に全交通量を乗じたものに等しく、それは交通流の平均密度に相当するため、密度をサービスレベルと定義しているとも考えられる。すなわち混合交通流がある密度を実現するような速度と、基準交通流がその密度を実現するような速度の関係から PCE を求めるものである。

以上をまとめると、

(a) 容量状態における PCE 算定方法である③以外は、いずれもサービスレベルごとに PCE を算定しようとする方法である。しかし、わが国で実務に用いられている PCE<sup>14)</sup>は、今のところサービスレベルと関連づけられて評価されるには至っていない。

(b) 多車線道路の自由流を対象とした場合に適用できる方法は、マクロ的算出方法の④と⑤と⑥である。

(c) 個々の利用者側から見たサービスレベルの定義としては、⑤の等旅行時間基準の速度が最も直接的と言える。

そこで、次節では等旅行時間基準に基づいて PCE を求め、考察することとする。

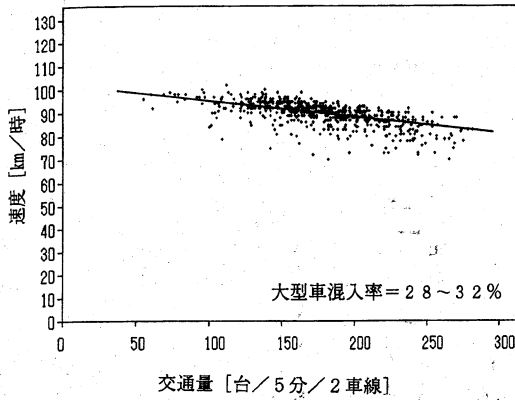


図-2 速度と交通量の関係 (東名下り 51.69 kp)

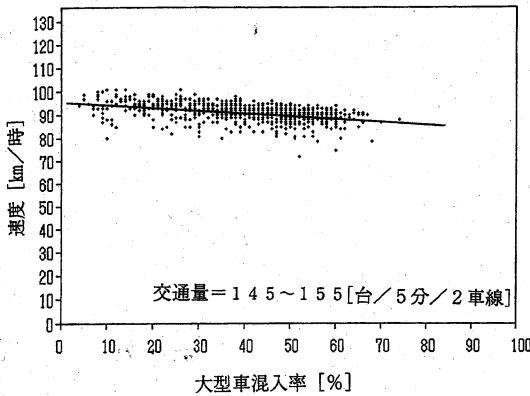


図-3 速度と大型車混入率の関係 (東名下り 51.69 kp)

### 3. 自由流における大型車の交通流への影響

#### (1) 交通流の分析

##### a) 使用データ

自由流における交通流の分析を行うために、東名高速道路の車両感知器のうち起点東京から 100 km 以内の片側 2 車線道路である 43 地点について、平成元年及び 2 年の 7 月、9 月の計 4 カ月の非雨天である平日の昼間 (5 時から 17 時) の 5 分間・2 車線合計の集計データを基礎データとした。

##### b) 交通量・速度・大型車混入率関係のモデル式

図-2, 3 は、東名下り 51.69 kp 地点における 2 車線合計の速度 ( $v$ ) と、交通量 ( $Q$ )、大型車混入率 ( $P_t$ ) の関係を表わした図である。この図のように、どの地点においても速度と交通量は大型車混入率の大きさに関わらず、そして速度と大型車混入率は交通量の大きさに関わらず、おおむね線形の関係にあった。

以上より、自由流領域において、速度と交通量、速度と大型車混入率の間には、それぞれ線形の関係があると思われるので、これに基づいて、速度 ( $v$ ) - 交通量 ( $Q$ ) - 大型車混入率 ( $P_t$ ) の 3 次元曲面を、次のような一般

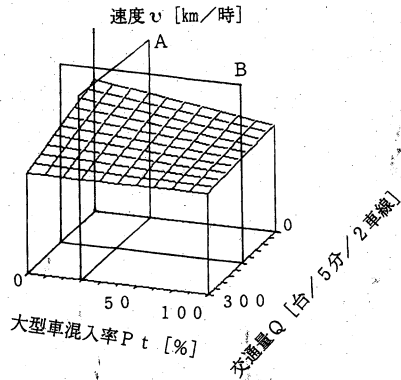


図-4 速度、交通量、大型車混入率の 3 次元回帰曲面 (東名下り 51.69 kp)

式で表わせると仮定した (図-4 参照)。

$$\begin{aligned} v &= (\alpha \cdot P_t + \beta) \cdot Q + (\gamma \cdot P_t + \delta) \\ &= (\alpha \cdot Q + \gamma) \cdot P_t + (\beta \cdot Q + \delta) \\ &= \alpha \cdot Q \cdot P_t + \beta \cdot Q + \gamma \cdot P_t + \delta \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ここで、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  は、高速道路上の各地点毎に与えられる定数であり、その地点の道路線形等の関数である。右辺は、交通量 (大型車混入率) を一定とすれば、大型車混入率 (交通量) の線形式となる性質を持つ。4 つの変数の持つ意味は次のように考えられる。

$\delta$ :  $P_t=0, Q=0$  の時の速度であるから、乗用車の単独自由走行状態での速度を表す。

$\gamma$ :  $P_t=1, Q=0$  の時の速度が  $\delta + \gamma$  であるから、 $\gamma$  は乗用車と大型車の単独自由走行速度の差を表す。

$\beta$ : 乗用車のみ ( $P_t=0$ ) の場合における交通量の増加による速度の低下率を表す。

$\alpha$ : 大型車のみ ( $P_t=1$ ) の場合における交通量の増加による速度の低下の割合が  $\beta + \alpha$  であるので、 $\alpha$  は乗用車と大型車の速度低下率の差を表す。

前述の車両感知器から得られたデータをもとに、計 43 の各地点ごとに  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  値を線形回帰によって求めた結果、各地点とも重相関係数は、0.5 から 0.7 程度の値が得られた。図-4 は、図-2, 3 で示した下り 51.69 kp における回帰曲面を表しており、大型車混入率が 30%、交通量が 150 [台/5分/2車線] の断面 A, B における速度の変化を、図-2, 3 に実線で示してある。これら 4 つのパラメータはその性格上、 $\beta$  と  $\gamma$  は負値、 $\delta$  は正値であり、 $\alpha$  値は正負の両方を取り得るが、回帰して得られた 4 つの変数についても、すべての地点でこのような結果になっている。

これらのパラメーターは、第 4 節で分析するように各地点の道路線形等によって説明づけられると思われるが、一例として乗用車の単独自由走行速度を表す  $\delta$  および大型車の単独自由走行速度を表す  $\delta + \gamma$  と、地点の

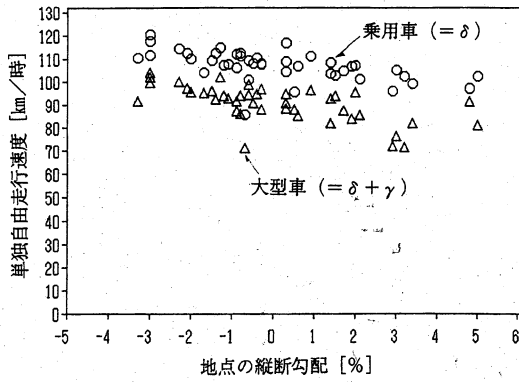


図-5 乗用車および大型車の単独自由走行速度と当該地点の縦断勾配との関係

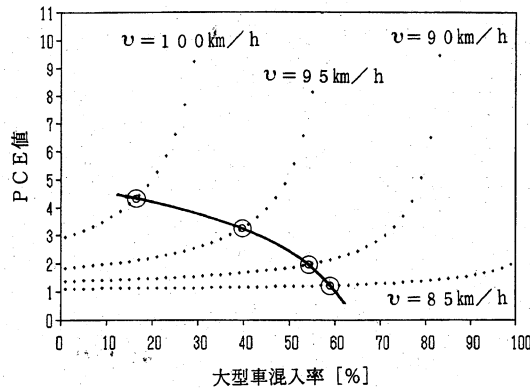


図-6 PCE と大型車混入率の関係 (東名下り 51.69 kp)

縦断勾配との関係を図-5に示す。縦断勾配が急になると速度が低下する様子がかなり明確に現れている。

(2) 等旅行時間基準による PCE 算定

等旅行時間基準に基づいて PCE を算定するには、式(1)に式(2)を代入して PCE について解いてやればよく、次のように PCE は、速度と大型車混入率の関数になる。

$$PCE = 1 - \frac{\alpha/\beta \cdot (v - \delta)/\gamma + 1}{P_t - (v - \delta)/\gamma} \dots \dots \dots (3)$$

下り 51.69 kp における PCE の変化を示したものが図-6であるが、この例のように速度レベルをある値に固定してみると、PCE は大型車混入率が増加するにつれて大きくなるという結果が得られた。この傾向は、速度レベルが高いほど顕著であり、またどの地点においても同様の結果が得られた。

ところで図-6において、ある速度に対して大型車混入率は全ての範囲を取り得るわけではない。大型車は一般的に乗用車に比べ低速であるため、平均速度が比較的高い場合には大型車混入率は低い値しかとれない。ちなみに、下り 51.69 kp で観測された  $P_t$  と  $v$  を用いて PCE 値をプロットすると図-7のようになり、速度が

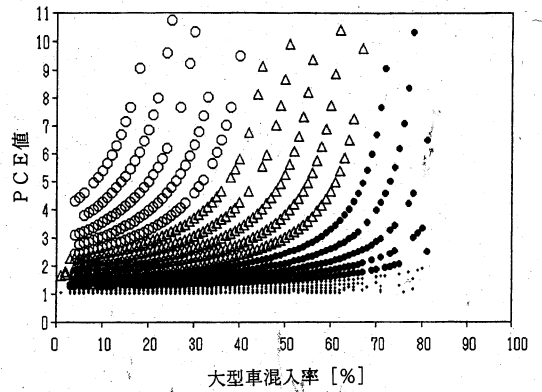


図-7 観測された PCE 値の分布 (東名下り 51.69 kp)

高い場合には大型車混入率が低い領域でしか分布しないことがわかる。図-6の◎は、このような分布を考慮して、各速度レベルにおける PCE 値の平均を示したものである。

◎印で示した平均値は大型車混入率が増加すると逆に減少する傾向にある。すなわち、全速度域をまとめて PCE の変化を見た場合、大型車混入率が増加すると PCE は減少するという結果であり、これは PCE をサービスレベルごとに算定していない従来の結果<sup>10), 14)</sup>と一致する。

(3) 考察

まず第1に、既存の文献でレビューしたように、PCE は、どの方法でもサービスレベルごとに定義されていたが、等旅行時間基準を用いて PCE を算定した場合も、確かに速度レベル別に PCE 値と大型車混入率の関係は、異なっていることが確認された。

第2に、ある速度レベルに限って変化を見れば、大型車混入率が増加するにしたがって PCE 値も増加するという、従来とは逆の興味深い結果が得られた。この傾向は、速度レベルが高い場合に顕著であったが、このような状況では交通量は少なく、個々のドライバーから見れば、乗用車はたとえ大型車が存在していても、それにはほとんど影響されずに走行できる。PCE 値がこのような状況で高くなるのは、サービスレベルである速度を個々の車両の速度でなく、ある時間単位(今回は5分間)の平均速度でとらえているために、大型車混入率が増加すると乗用車に比較して自由走行速度の低い大型車によって平均速度が低下し、結果として PCE 値が大きくなってしまいうわけである。このような状況下においても、式(3)より、PCE は算出可能ではあるが、乗用車と大型車の物理的な相互干渉がこの様にほとんどない状況における PCE 値を大型車の乗用車換算係数と呼ぶのがふさわしいのか議論を呼ぶところであろう。

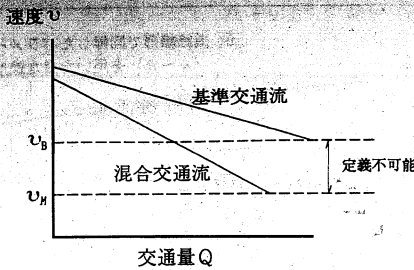


図-8 PCEの定義不可能な領域

また、以上のように平均速度は低下しても、個々の車両の速度はほとんど変わらないような状況のサービスレベルを、平均速度が低下したからといって低く評価することは、利用者側からみて妥当な評価なのではないかもしれない。本研究では車両感知器データの制約上、乗用車と大型車の速度-交通量関係を別々に把握することができなかったが、利用者側からみたサービスレベルを考えるにあたっては、車種別の速度をサービスレベルにとって分析する必要があるであろう。

一方第3に、速度の低い状況を考えて、乗用車のみの標準交通流では、自由流領域の最低速度(臨界速度  $v_B$ )を持つ。それに対して混合交通流は、標準交通流よりも低い臨界速度  $v_M$  を持つものと考えられるため、図-8のように混合交通流が容量状態に近い状況では、標準交通流の自由流領域では実現不可能な速度が存在する。このような場合には式(1)の関係が成立しないので、PCEが定義できない。このような速度の混合交通流は現実に存在するにもかかわらず、この領域でPCEが定義できないことは、この方法の欠点である。

#### 4. 速度-交通量-大型車混入率と道路線形等との関連分析

これまでPCEという概念は、混合交通流の速度-交通量等の関係を求めるためのわかりやすい指標として導入されてきたが、上記のように概念の理解が難しい状況や定義が出来ない状況が存在すると言った問題点を持つ。従来は、種々な地点において算出されたPCEと道路線形とを関連づける試みが行われてきたが、ここではPCEという概念を導入せずに、交通量-速度-大型車混入率の関係を表す3次元曲面を道路線形等と直接関連づけることとする。すなわち、4つのパラメーター( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ )を道路線形等の関数として表現する。

##### (1) 道路線形等に関する説明変数

4変数( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ )を表現する説明変数の候補として、以下を考える。

##### ① 道路線形に関する変数

- ・当該地点の縦断勾配
- ・当該地点の縦断勾配長

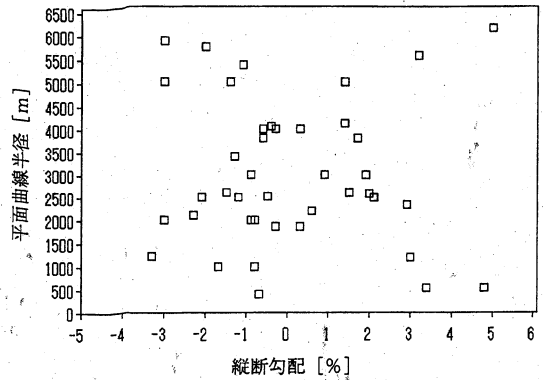
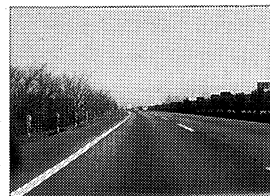
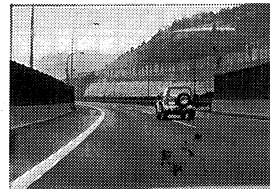


図-9 対象43地点の縦断勾配と平面曲線半径の分布



見通し・良い



見通し・悪い

図-10 見通しの良い・悪い例

- ・手前1kmの重み付き縦断勾配
- ・平面曲線半径
- ・手前5kmのカーブ数、等

##### ② 見通しおよび周辺環境に関する変数

- ・見通し(良い・普通・悪いの3段階)
- ・周辺の環境(都市部・郊外部・山岳部の3段階)
- ・前方の視界(解放的・圧迫的の2段階)

対象地点43箇所について、①の道路線形に関する変数として考慮する当該地点の縦断勾配と平面曲線半径の分布を示したのが図-9であるが、対象地点の線形はそれほど偏りもなく、まずまず一様に分布していると思われる。

また、②の見通しおよび周辺環境に関する変数を考慮した理由は、人間が車両を運転する以上、自ずとその運転挙動に心理的な要素が絡むことは無視できず、例えば前方からの圧迫感や視界の狭さ等の感覚は、即座に車両速度の低下につながると思われるためである。しかしながら、このような要因を客観的かつ定量的に評価するのは今後の課題であり、現段階では筆者等の主観的感覚により数段階に分類するに留まっている。見通しが良

表-1 4パラメーターの回帰式

$\alpha = -0.192 \cdot G_0 \cdot L \cdot S + 0.0135 \cdot S + 0.0359$ <p>(第1項は, <math>G_0 &gt; 0</math> の場合のみ)</p>	相関係数 = 0.42 F = 4.22
$\beta = 0.137 \cdot G_0 \cdot L \cdot S + 7.19/R - 0.0183 \cdot S - 0.0609$ <p>(第1項は, <math>G_0 &gt; 0</math> の場合のみ)</p>	相関係数 = 0.62 F = 8.29
$\gamma = -164.3 \cdot G_w + 0.000202 \cdot R - 18.2$	相関係数 = 0.55 F = 8.57
$\delta = -153.5 \cdot G_0 - 5746.7/R + 110.0$	相関係数 = 0.71 F = 20.0
<p><math>G_i</math> = 上流 (100 · i) m地点の縦断勾配 (<math>G_0</math>は当該地点の縦断勾配)</p> <p><math>L</math> = 当該地点の縦断勾配の上流勾配長[km]</p> <p><math>G_w</math> = 手前1km区間の重み付き縦断勾配</p> $= \sum_{i=0}^{10} G_i \cdot (10 - i) / \sum_{i=0}^{10} i$ <p><math>R</math> = 当該地点の平面曲線半径[m]</p> <p><math>S</math> = 見通し (良い=0, 普通=1, 悪い=2)</p>	

い・悪いと評価された例を図-10に示す。

(2) 道路線形等による  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  の説明

説明変数の候補の中から, 4パラメーターを最も良く説明する線形回帰式を求めたものが表-1に示されている。いずれの回帰式も, 危険率5%水準のF検定を合格したものである。また, 図-11には, 下り51.69kp地点における実測データの回帰によって求めたパラメーターを用いた推定速度 ( $\hat{v}$ ) と道路線形等によって推定されたパラメーターを用いた推定速度 ( $\hat{\hat{v}}$ ) の関係を示す。

図-12には全地点における推定速度  $\hat{v}$  と観測値  $\hat{v}$  とのRMS誤差 (式(4)) を, 交通量は10台きざみ, 大型車混入率は20%きざみで, 各グループ別に示したものである。

$$RMS(Q, P_i) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_i \{v_{ik}(Q, P_i) - \hat{v}_k(Q, P_i)\}^2}{\sum_k N_k(Q, P_i)}} \dots \dots \dots (4)$$

$RMS(Q, P_i)$  = 交通量が  $[Q-5, Q+5]$ , 大型車混入率が  $[P_i-0.1, P_i+0.1]$  の範囲のRMS誤差

$v_{ik}(Q, P_i)$  = 交通量が  $[Q-5, Q+5]$ , 大型車混入率

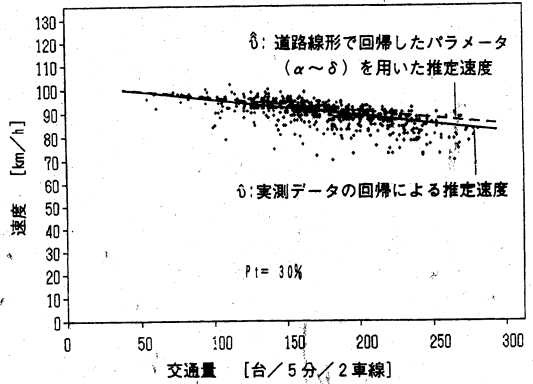


図-11 実測データの回帰による推定速度 ( $\hat{v}$ ) と道路線形によって推定されたパラメーターを用いた推定速度 ( $\hat{\hat{v}}$ ) の関係 (東名下り51.69kp)

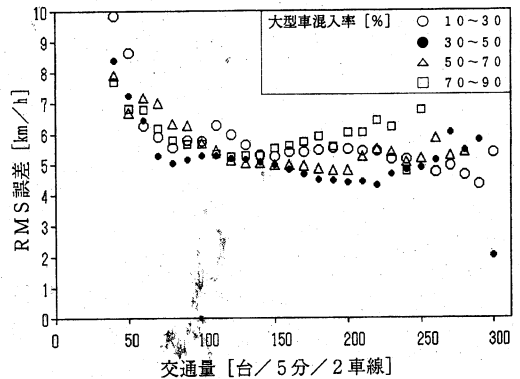


図-12 全地点における交通量と大型車混入率のグループ別のRMS誤差

が  $[P_i-0.1, P_i+0.1]$  の範囲の地点  $k$  における  $i$  番目観測速度

$\hat{\hat{v}}_k(Q, P_i)$  = 交通量が  $[Q-5, Q+5]$ , 大型車混入率が  $[P_i-0.1, P_i+0.1]$  の範囲の地点  $k$  における推定速度

$N_k(Q, P_i)$  = 交通量が  $[Q-5, Q+5]$ , 大型車混入率が  $[P_i-0.1, P_i+0.1]$  の範囲の地点  $k$  における観測データ数

大型車混入率が10~90%, 交通量が約50~250 [台/5分/2車線] の範囲では, RMS誤差は, 約4~7[km/h] となっている。

一方図-13は, 同じグループ別に観測された速度の全地点における標準偏差 (式(5)) を表したものであるが, 交通量が約50~250 [台/5分/2車線] の範囲では, 観測値そのものが約3~5[km/h] 程度の幅を持って分布していることがわかる。

$$\sigma(Q, P_i) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_i \{v_{ik}(Q, P_i) - \bar{v}_k(Q, P_i)\}^2}{\sum_k N_k(Q, P_i)}} \dots (5)$$

$\bar{v}_k(Q, P_i)$  = 交通量が  $[Q-5, Q+5]$ , 大型車混入率

が  $[P_i - 0.1, P_i + 0.1]$  の範囲の地点  $k$  における平均速度

従って、3次元回帰による誤差の増加分は約 2~3 [km/h] 程度であり、比較的小さいと思われる。ただし、交通量が約 50~250 [台/5分/2車線] の範囲外では、データ数が相対的に少なく RMS 誤差は急激に増加するので、適用を制限する必要がある。

### (3) 考察

表-1 の回帰式を考察すれば、まず  $\delta$  値は乗用車の単独自由走行速度を表すが、乗用車は大型車に比べて道路線形への反応が速く、上流地点の道路線形より当該地点の線形により大きな影響を受けると考えられ、説明変数にも当該地点の縦断勾配や平面曲線半径が取られている。また、急勾配等で道路条件が厳しくなれば  $\delta$  値は小さくなるが、それは予想できた結果である。

一方、 $\gamma$  値は大型車の単独自由走行速度が、乗用車の自由走行速度 ( $\delta$ ) からどれだけ低下しているかを表す。大型車は一般的に、乗用車と比較して加速力に劣り、大型車が長い上り坂を登り終えた後もなかなか速度を回復できないように、大型車速度は当該地点のみならず上流の線形にも大きな影響を受けると考えられる。実際に  $\gamma$  値は、当該地点の縦断勾配よりも、手前 1 km の重み付き縦断勾配に対する反応がよい。縦断勾配が大きくなり曲線半径が小さくなると、乗用車との速度差は大きく ( $\gamma$  は小さく) なる。

すべて乗用車である場合の、交通量の増加に伴う速度の低下率を示す  $\beta$  値は、見通しとの相関が高かったことが特徴である。一方、上流の線形を内在化した縦断勾配と勾配長との積 (高低差) も、変数の中に取り込まれているが、下り勾配になるとほとんど説明力がなくなってしまい、第 1 項は縦断勾配が上りの場合にのみ有効とした。また、道路条件が厳しくなると低下率は小さく ( $\beta$  値は大きく) なるが、この場合には交通量が少ない状況でも自由走行速度は低く抑えられるため、その分交通量の増加に伴う速度低下は比較的低減されるということであろう。

最後に、すべて大型車である場合の交通量の増加に伴う速度の低下率が、すべて乗用車である場合 ( $\beta$ ) に比べてどれだけ異なるかを表す  $\alpha$  値も、 $\beta$  と同じような変数によって説明されているが、変数の符号は  $\beta$  と逆の結果になっている。つまり、縦断勾配 ( $G_0$ ) がゼロの場合には  $\alpha$  は正の値をとるので、乗用車のみ交通流よりも交通量増加による速度の低下率は小さいが、縦断勾配が大きくなるにつれて低下率も次第に大きくなるという結果である。また、 $\beta$  には取り込まれていた平面曲線半径の説明力はほとんどなく、説明変数から落ちていく。

これらの回帰式を用いれば、任意の地点における道路

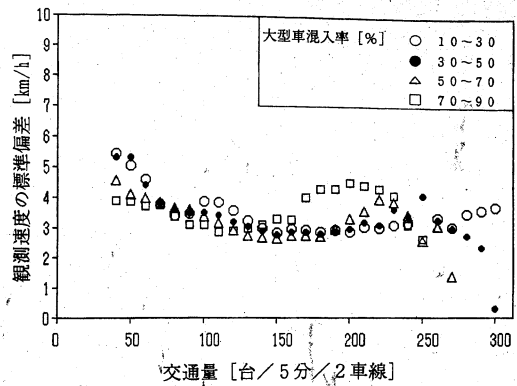


図-13 全地点における交通量と大型車混入率のグループ別の観測速度の標準偏差

線形などによってパラメーター  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  を推定することができ、それを式 (2) に代入することにより、その地点の交通量—速度—大型車混入率の関係を求めることができる。

本手法では、以上の様に地点ごとの実測データを用いて地点ごとに 4 つのパラメーター  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  を求めた後、これらのパラメーターを各地点の道路線形で回帰するという 2 段階で構成されている。

各段階ごとに問題点を整理すれば、まず第 1 段階については、式 (2) に示す様な曲面を仮定したことによる誤差があげられる。本仮定は、交通量  $Q$  が極めて小さくはなく、かつそれ程容量に近くもないような、本研究で対象とする自由流の範囲では概ね成立すると思われるが、これ以外の範囲では、確認はできてない。次に、この段階における説明変数のとり方、データの扱い方の問題が考えられる。図-13 を見てわかるように、式 (2) の 3 次元曲面を仮定しなくても、約 3~5 [km/h] 程度の標準偏差が確認できる。これは、ほぼ同じ値の  $Q$  と  $P_i$  であっても、観測速度がこの程度バラツキしていることを示しており、 $Q$  と  $P_i$  以外の例えばドライバー属性等に帰因するバラツキと、観測データを車線別あるいは車種別に扱っていない等、というデータの処理に起因するバラツキとが混在しているものと考えられる。特に、後者は今後の課題として、検討すべきものであろう。

次に、第 2 段階の道路線形等による回帰については、回帰式の構造を線形回帰としているモデル構造上の問題および説明変数のとり方が、推定精度に影響していることは明らかである。しかしながら、モデル構造をどうすべきかについては、理論的な裏付けは得られにくく、当面線形回帰でよいものとする。説明変数については、道路線形の連続性に関する変数の工夫、ドライバーの心理的な要素を反映する変数のとり方とその客観的な定量化が今後の課題として残される。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、都市間高速道路の自由流における大型車の影響を分析した。従来、大型車の影響を表わす指数として、大型車の乗用車換算係数（PCE）を導入するのが一般的であり、本研究でも各種のPCEの算出方法を考察し、その中から多車線の自由流における最適定義方法と考えられる「等旅行時間基準」を用いて、東名高速道路の車両感知器データを基に、PCEの算定を行った。その結果、「サービスレベル（速度）を固定すれば、大型車混入率の増加に伴ってPCEは増加する」という興味深い知見を得た。しかしながら、この方法で得られたPCEにも、(1)定義できない領域が存在する、(2)速度が高く交通量が少ない場合には、乗用車と大型車の物理的な相互干渉がほとんどないように、車両の挙動とPCEの関連性が希薄になる場合がある、という問題点を指摘した。

そこで、PCEという概念を導入せずに、交通量－速度－大型車混入率の関係を4つのパラメーターを持つ3次元曲面で表すことを試みた。さらに、4つのパラメーターを、地点の道路線形、見通しに関する変数によって、ある程度説明することが可能であることを示した。

今後の主な課題としては、

- 1) 見通しおよび周辺環境に関する変数を客観的かつ定量的に評価する必要があること、
  - 2) サービスレベルの指標として混合交通流の5分間平均速度という集計量を採用したが、個々のドライバーからみたサービスレベルという視点から言えば、乗用車と大型車の速度を別個に評価して、分析する必要があること、
  - 3) 交通量－速度－大型車混入率の関係を、走行・追越し車線別に分析し、車線利用率との関係を把握すること、
  - 4) 容量状態などのように、自由流以外の交通状態における分析も必要であること、
- 等があげられる。

## 参考文献

- 1) Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 87, 1965.
- 2) Al Werner, Jhon F. Morrall : Passenger Car Equivalencies of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles for Two-Lane Rural Highways, Transp. Res. Rec. 615, pp.10~17, 1976.
- 3) Joseph Craus, Abishai Polus and Itzhak Grinberg : A Revised Method for the Determination of Passenger-Car Equivalencies, Transp. Res. 14 a, pp.241~246, 1980.
- 4) Wiley D. Cunagin and Carroll J. Messer : Passenger-Car Equivalents for Rural Highways, Transp. Res. Rec. 905, pp.61~68, 1983.
- 5) 陳鶴：大型車の乗用車換算係数に関する研究，東京大学工学系研究化修士論文，1991.9.
- 6) 大蔵泉・片倉正彦・平形淳一：大型車の乗用車換算係数の推定高速道路と自動車第34巻第11号，pp.21~30，1991.11.
- 7) Roger P. Roess and Carroll J. Messer : Passenger Car Equivalents for Uninterrupted Flow : Revision of Circular 212 Values, Transp. Res. Rec. 971, pp.7~13, 1984.
- 8) Elliot M. Linzer, Roger P. Roess and William R. Mchane : Effect of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles on Freeway Capacity and Service Volume, Transp. Res. Rec. 699, pp.17~26, 1979.
- 9) A. D. St. John : Nonlinear Truck Factor for Two-Lane Highways, Transp. Res. Rec. 615, pp.49~53, 1976.
- 10) Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 1985.
- 11) Matthew J. Huber : Estimation of Passenger Car Equivalents of Trucks in Traffic Stream, Transp. Res. Rec. 869, pp.60~70, 1982.
- 12) 岩崎征人・高田祐：トラック類の乗用車換算係数推定方法の提案と検証，土木学会論文集，No.464/IV-19，pp.91~99，1993.4.
- 13) Naresh Sthapit and Izumi Okura : Estimation of Effect of Heavy Vehicles on Motorway Traffic Characteristics, 土木計画学研究・講演集15，pp.299~304，1992年11月.
- 14) 道路協会：道路の交通容量，1984.9.

(1993.7.9受付)

## EFFECTS OF HEAVY VEHICLES ON UNCONGESTED TRAFFIC FLOW ON INTERCITY MOTORWAYS

Masao KUWAHARA and Ohmi IRYO

This study analyses effects of heavy vehicles on uncongested traffic flow on intercity motorways. First, several definitions of the PCE (Passenger Car Equivalence) are reviewed and the problems on PCE are pointed out through the estimation of PCE values by speed levels at 43 locations on the Tomei expressway using traffic detector data. Second, to evaluate effects of heavy vehicles, the study proposes a 3-dimensional regression of flow, speed, and percentage of heavy vehicles as a function of the road alignment as well as visibility without introducing PCE.