

1994年 5 月 (生産研究 第46巻 第5号抜刷)

Reprinted from

"SEISAN-KENKYU" VOL.46, NO.5

大型車混入率・道路線形が Q-V 関係に及ぼす影響

——都市間高速道路の自由流における検討——

Effects of Heavy Vehicles on the Flow-Speed Relationship on Intercity Motorways

桑原雅夫・井料青海

Masao KUWAHARA and Iryo OHMI

東京大学生産技術研究所
INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE, UNIVERSITY OF TOKYO

大型車混入率・道路線形がQ-V関係に及ぼす影響

——都市間高速道路の自由流における検討——

Effects of Heavy Vehicles on the Flow-Speed Relationship on Intercity Motorways

桑原雅夫*・井料青海**

Masao KUWAHARA and Iryo OHMI

1. はじめに

道路の交通容量, サービスレベル等を求める際に, 大型車1台を乗用車1台と同一に扱うことは不合理であり, 何らかの補正が必要となる. 我が国においても, 交通流における大型車の影響分析が過去に行われているが, データの蓄積が不十分なため, 道路線形や交通条件と関連づけるという点でいま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(特に交通量(Q)-速度(v)関係)への大型車の影響分析を行うこととする.

2. 大型車の乗用車換算係数(PCE)

大型車の定義として, 本研究では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.

一般的に大型車の影響を指し示す値として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1台が乗用車何台分に相当するかを示す補正值であり, この値によって, 図1における乗用車だけの基準交通流と大型車を含んだ混合交通流のQ-V関係式を関連づけることができる. たとえば, すべて乗用車であるような交通流(基準交通流)のQ-V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Q-V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Q-V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.

このPCEの定義方法としては, 現在までに大きく分け

て6種類の方法が提案されているが, 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. 本研究では, 自由流に適用できる等旅行時間基準に基づいた方法によって, PCE値を算定して大型車の影響を分析し, このPCEについての問題点をまず考察することにする.

この方法は, 大型車を含んだ混合交通流は, 同程度の速度を実現するためには, 乗用車だけの基準交通流に比べて, 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¹⁾⁻³⁾. 交通流の平均速度をサービスレベルと定義し, 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.

$$Q_B = (1 - P_t) \cdot Q_M + P_t \cdot Q_M \cdot PCE, \quad (1)$$

ここに, P_t = 大型車混入率, $0 \leq P_t \leq 1$.

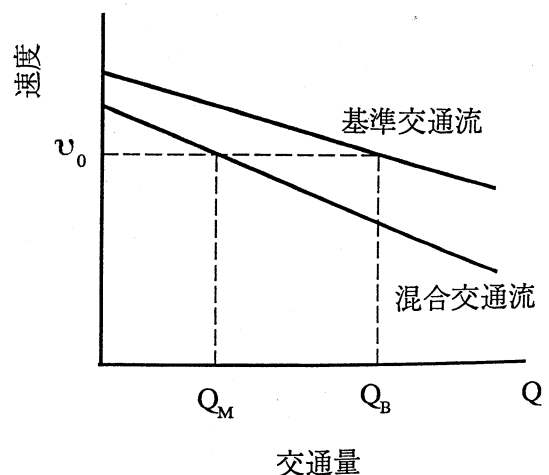


図1 等旅行時間基準によるPCE算定方法

*東京大学生産技術研究所 第5部

**JR 東日本

3. 自由流における大型車の交通流への影響

3.1 交通流の分析

(1) 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100km以内の片側2車線道路である43地点について、平成元年および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用いた。

(2) 交通量・速度・大型車混入率関係のモデル式

東名43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(Pt)の関係を見ると、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。そこで、速度(v)-交通量(Q)-大型車混入率(Pt)の3次元曲面を、次のような一般式で表せると仮定した(図2参照)。

$$v = (\alpha \cdot Pt + \beta) \cdot Q + (\gamma \cdot Pt + \delta) \tag{2}$$

$$= \alpha \cdot Q \cdot Pt + \beta \cdot Q + \gamma \cdot Pt + \delta$$

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。

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。これら4つのパラメータはその性格上、 β と γ は負値、 δ は正值であり、 α 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

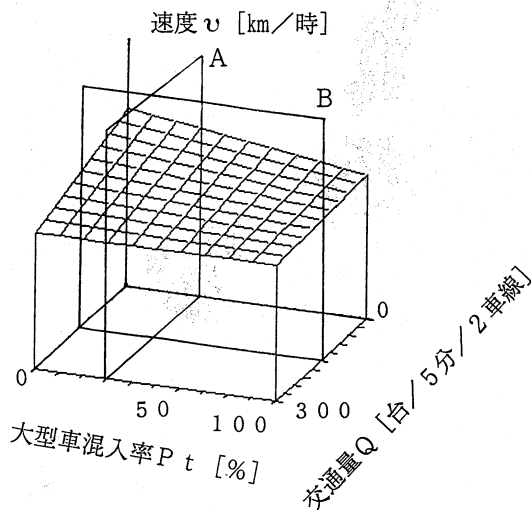


図2 速度、交通量、大型車混入率の3次元回帰曲面

地点でこのような結果になっている。

3.2 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。

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

下り51.69kpにおけるPCEの変化を示したものが図3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3において、ある速度に対して大型車混入率はすべ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。図3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。このように各速度レベルの平均値◎は、Ptの増加に伴い減少する傾向にある。すなわち、PCEの変化をサービスレベルごとに見ないで、全速度域にわたって評価すると、従来から言われているように、Ptの増加につれてPCEは減少する。

3.3 考察

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、

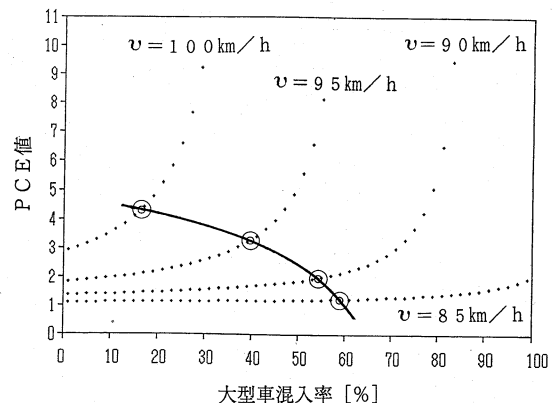


図3 PCEと大型車混入率の関係(東名下り51.69kp)

研究速報

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よう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。

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Q-V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。

4. 速度-交通量-大型車混入率と道路線形等との関連

これまでPCEという概念は、混合交通流のQ-V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が存在すると言った問題点を持つ。そこで、次に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。

道路線形・周辺環境などを代表するいくつかの説明変数の候補の中から、4パラメーター $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を最もよ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。この回帰式中のSは道路線形の見通しのよさを3段階で評価したもので、その例を図4に示す。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5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{v})の関係を示す。

図6は、全地点における推定速度 \hat{v} と観測値 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。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。

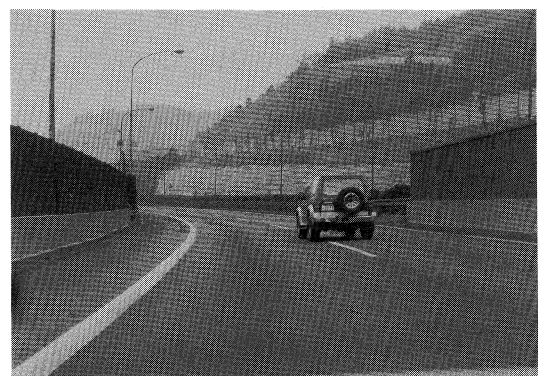
$$RMS(Q, Pt) = \frac{\sqrt{\sum_k \sum_i \{v_{ik}(Q, Pt) - \hat{v}_k(Q, Pt)\}^2}}{\sqrt{\sum_k N_k(Q, Pt)}} \quad (4)$$

表1 4パラメーターの回帰式

$\alpha = -0.192 \cdot G_0 \cdot L \cdot S + 0.0135 \cdot S + 0.0359$ (第1項は、 $G_0 > 0$ の場合のみ)	相関係数 = 0.42 F = 4.22
$\beta = 0.137 \cdot G_0 \cdot L \cdot S + 7.19/R - 0.0183 \cdot S - 0.0609$ (第1項は、 $G_0 > 0$ の場合のみ)	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
G_i = 上流(100 <i>i</i>)m地点の縦断勾配 (G_0 は当該地点の縦断勾配) L = 当該地点の縦断勾配の上流勾配長[km] G_w = 手前1km区間の重み付き縦断勾配 $= \frac{\sum_{i=0}^{10} G_i \cdot (10-i)}{\sum_{i=0}^{10} i}$ R = 当該地点の平面曲線半径[m] S = 見通し(良い=0, 普通=1, 悪い=2)	



よい



悪い

図4 見通しのよい・悪い例

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

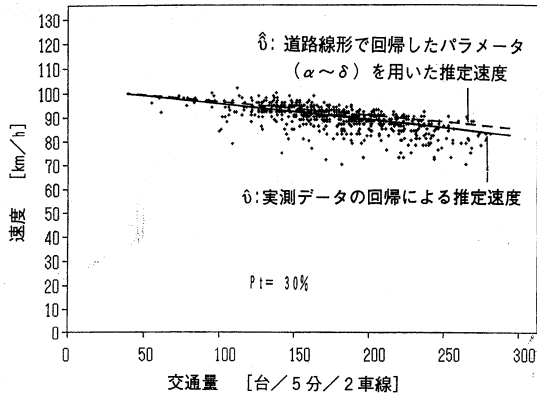


図 5 実測データの回帰による推定速度 (\hat{v}) と道路線形によって推定されたパラメーターを用いた推定速度 (\hat{v}) の関係 (東名下り 51.69kp)

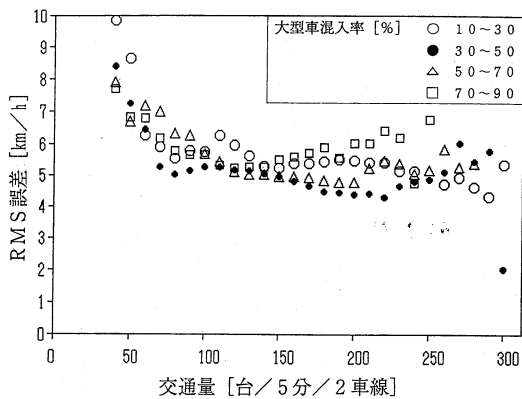


図 6 全地点における交通量と大型車混入率のグループ別の RMS 誤差

- $v_{ik}(Q, Pt)$ = 交通量が $[Q-5, Q+5]$, 大型車混入率が $[Pt-0.1, Pt+0.1]$ の範囲の地点 k における i 番目観測速度
- $\hat{v}_k(Q, Pt)$ = 交通量が $[Q-5, Q+5]$, 大型車混入率が $[Pt-0.1, Pt+0.1]$ の範囲の地点 k における推定速度
- $N_k(Q, Pt)$ = 交通量が $[Q-5, Q+5]$, 大型車混入率が $[Pt-0.1, Pt+0.1]$ の範囲の地点 k における観測データ数

研 究 速 報

一方、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)) を計算すると、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。

$$\sigma(Q, Pt) = \frac{\sqrt{\sum_k \sum_i \{v_{ik}(Q, Pt) - \bar{v}_k(Q, Pt)\}^2}}{\sqrt{\sum_k N_k(Q, Pt)}} \quad (5)$$

$\bar{v}_k(Q, Pt)$ = 交通量が $[Q-5, Q+5]$, 大型車混入率が $[Pt-0.1, Pt+0.1]$ の範囲の地点 k における平均速度

したがって、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。

これらの回帰式を用いれば、任意の地点における道路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。

ただし、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、車種別・車線別に速度を評価して、分析する必要があること、車線利用率との関係を把握すること等が課題として残されている。

(1994年1月20日受理)

参 考 文 献

- 1) Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 87, 1965.
- 2) Matthew J. Huber: Estimation of Passenger Car Equivalents of Trucks in Traffic Stream, Transp. Res. Rec. 869, pp. 60-70, 1982.
- 3) 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.