

信号交差点における車頭時間を用いた大型車の乗用車換算係数の推定方法*

Estimation of Passenger Car Equivalent for Heavy Vehicle

鹿田成則**・片倉正彦***・大口 敬****

by Shigenori SHIKATA, Masahiko KATAKURA, Takashi OGUCHI

1. はじめに

都市内街路の交通渋滞はほとんどの場合信号交差点をボトルネックにして発生し、渋滞対策を立案する上で信号交差点の交通容量は必要不可欠のものであるのは周知のことである。交差点の交通容量は交差点流入部の飽和交通流率と信号制御方式によって決まり、交差点の交通容量の中心課題は飽和交通流率である。飽和交通流率に影響を及ぼす要因は様々に存在するが、これら影響要因の中で大型車の影響はほぼすべての要因にかかわる基本的要因の1つである。大型車の影響は大型車1台が乗用車何台分に相当するかを表す乗用車換算係数(当量値, 以下大型車当量と呼ぶ)で表現され、これまでも大型車当量の推定方法はいくつか提案されている。しかしながらこれらの推定方法には適用条件の不明確さや論理的な説明の曖昧さがあるため、実際の適用と推定結果の解釈に混乱が生じている現状がある。

本稿は、従来の大型車当量の推定方法がもつ問題点をとおして大型車当量の整理をし直し、大型車の影響と大型車当量との関係を明確にしようとしたものである。

2. 従来の推定方法と問題点

飽和流における大型車当量の推定方法は、取り扱いデータによって交差点流入部の通過台数と車頭時

間を用いる方法に分けられる。

通過台数を用いる方法¹⁾は、大型車の影響を飽和交通流率と大型車混入率の線形回帰モデルで表現し、この回帰式と3.の(3)式から大型車当量を推定するものであり、大型車当量は大型車混入率によって変化する。この推定結果の信頼度は用いる回帰式にすべて依存しており、作成する回帰式にはそれに見合った十分なデータが必要である。さらに回帰に用いた大型車混入率の範囲でしか大型車当量の値は意味を持たず、実験式の性格を有するものである。一方、3.の(2)式において n_c , n_T , t に実測データを当てはめ、最小二乗法に基づいて直接大型車当量を求める方法も提案されている。この方法では大型車当量は大型車混入率に無関係に一定値を取る。算出のための方法論としては明確であるが、大型車当量が大型車混入率によらず一定値を取るか否かの論理上の根拠はなく、前者と同様に用いたデータの範囲でしか意味を持たない。

車頭時間を用いる方法は、大型車の影響が車頭時間にあらわれることから大型車の影響を表現するには最も直接的な方法である。この方法では、3.の(9)と(10)式が用いられる。これらの式からわかるように、求められる大型車当量は大型車混入率に無関係に一定の値をとる。しかしながら、両式のそれぞれの意味と関係が十分に明らかにされていない。(9)式は大型車が2台連続するときの車頭時間を考慮しておらず、(10)式はこの車頭時間だけから求めるものであり、両者は車頭時間の取り扱いにおいて相対している。大型車混入率の低いとき(9)式、大型車混入率100%のとき(10)式に相当し、通常的大型車当量は(9)式と(10)式の間にあるという指摘もある²⁾。しかしながらそれぞれの式の適用条件が明確でない²⁾ので、実際には両式のいずれかを用いるかまたは両

* キーワード：交通流, 交通容量, 交通制御

** 正員 工修 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻

*** 正員 工博 同上

****正員 博(工)同上

〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1

TEL 0427-77-1111, FAX 0426-77-2772

式の値を併記せざるを得ないのが現状である³⁾。

以上のように、通過台数を用いる方法は論理上の根拠のないまま算出上の方法論を提案しており、用いるデータによって推定結果が強く影響を受けるといふ難点を持つ。車頭時間を用いる方法は大型車の影響を表現するには明快で直接的な方法であるが、提案されている推定式と大型車当量の関係が明確にされていない。そこで、本稿では車頭時間を用いた大型車当量の推定方法について現在の問題点を踏まえて再検討し、明確な形で推定方法を提案する。

3. 車頭時間による大型車当量の定式化

(1) 飽和流における車頭時間と大型車当量

飽和流における車両の車種を乗用車類(C)と大型車類(T)の2車種に分類すると、飽和時間 t の間に N 台(n_C : 乗用車類台数、 n_T : 大型車類台数)の車両が流出したときの飽和交通流率 S は、

$$S = \frac{N}{t} = \frac{n_C + n_T}{t} \quad (1)$$

であり、乗用車類に換算した飽和交通流率 S_C は、大型車当量 E_T によって

$$S_C = \frac{n_C + E_T n_T}{t} \quad (2)$$

と表せる。(1)、(2)式から S と S_C の間には次の関係がある。

$$S = \frac{S_C}{\frac{n_C + E_T \cdot \frac{n_T}{N}}{N}} = \frac{S_C}{(1 - p_T) + E_T \cdot p_T} \quad (3)$$

(p_T : 大型車混入率)

車種を乗用車類と大型車類の2車種に分類すると、車頭時間は h_{CC} 、 h_{CT} 、 h_{TC} 、 h_{TT} の4通りになる。 h の添え字は車両の流れる順序を車種別に表しており、たとえば h_{CT} は前車が乗用車類、後車が大型車類である車頭時間を意味している。

車種の出現順序は前車に依存せずそれぞれ独立と考えることができ、大型車の出現確率を p_T (大型車混入率)にとれば、小型車の出現確率は $(1 - p_T)$ であり、車種ごとに2台連続して出現する確率は

$$\begin{aligned} P(CC) &= (1 - p_T)^2, & P(CT) &= (1 - p_T)p_T, \\ P(TC) &= p_T(1 - p_T), & P(TT) &= p_T^2 \end{aligned}$$

と表すことができる。したがって、乗用車類と大型車類の車両が混在したときの飽和流の車頭時間の期待値 $E(h)$ は次式で表すことができる。

$$E(h) = h_{CC}(1 - p_T)^2 + (h_{CT} + h_{TC})(1 - p_T)p_T + h_{TT}p_T^2 \quad (4)$$

車頭時間の期待値 $E(h)$ を用いれば飽和交通流率 S は、

$$S = 1/E(h) \quad (5)$$

である。大型車当量 E_T によって乗用車に換算した飽和交通流率 S_C は実際に出現する値ではないので、ここでは S_C と等価のものとして次式を用いる。

$$S_C = \frac{1}{E(h_{CC})} = \frac{1}{h_{CC}} \quad (6)$$

(4)、(5)、(6)式を用いれば(3)式を車頭時間の形で表すことができる。すなわち、

$$E(h) = h_{CC}(1 - p_T + E_T p_T) \quad (7)$$

である。この式が飽和流での車頭時間を用いた大型車当量の定義式である。(4)式より(7)式は

$$\begin{aligned} E_T &= \frac{h_{CT} + h_{TC} - h_{CC}}{h_{CC}} \\ &\quad - \frac{h_{CT} + h_{TC} - h_{CC} - h_{TT}}{h_{CC}} p_T \end{aligned} \quad (8)$$

となり、大型車混入率 p_T のときの大型車当量 E_T を表している(ただし、 $0 < p_T \leq 1$)。

(2) 大型車当量と大型車混入率の関係

(8)式に基づいて E_T と p_T の関係を考察する。ここで、 $Z = h_{CT} + h_{TC} - h_{CC} - h_{TT}$ とおくと、

(i) $Z=0$ のとき

$$E_T = \frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1 \quad (9)$$

また、 $h_{CT} + h_{TC} = h_{CC} + h_{TT}$ より

$$E_T = \frac{h_{TT}}{h_{CC}} \quad (10)$$

である。この条件のときに両者は一致し、 E_T は p_T に無関係に一定値をとる。従来から大型車当量を求めるのに(9)式または(10)式が用いられていたが、これらの式が p_T に無関係に成り立つのは $Z=0$ の条件のときである。

(ii) $Z < 0$ のとき

E_T は p_T に対して単調増加の関係にあり、 p_T が

増加するほど E_T は大きくなり、 $0 < p_T \leq 1$ のとき、 $h_{CT} > h_{CC}$ 、 $h_{TC} > h_{CC}$ より E_T の値の範囲は

$$1 < \frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1 < E_T \leq \frac{h_{TT}}{h_{CC}} \quad (11)$$

である。

(iii) $Z > 0$ のとき

E_T は p_T に対して単調減少の関係にあり、 p_T が増加するほど E_T は減少し、 $0 < p_T \leq 1$ のとき、 E_T の値の範囲は

$$1 < \frac{h_{TT}}{h_{CC}} < E_T \leq \frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1 \quad (12)$$

である。

すなわち、 $Z < 0$ のとき大型車当量は(9)式を最小、(10)式を最大に単調増加し、 $Z > 0$ のときはその逆になることがわかる。

ここで Z の意味について考える。車頭時間を、車長分の長さが通過するのに要する時間(t_C :小型車、 t_T :大型車)と前車の後端が通過してから後車の前端が通過するまでの車間時間(g_{CC} 、 g_{CT} 、 g_{TC} 、 g_{TT})とに分解し、

$$\begin{aligned} h_{CC} &= t_C + g_{CC}, & h_{CT} &= t_C + g_{CT} \\ h_{TC} &= t_T + g_{TC}, & h_{TT} &= t_T + g_{TT} \end{aligned}$$

と表す。 $Z=0$ のときは $h_{CT} + h_{TC} = h_{CC} + h_{TT}$ より、

$$g_{CT} + g_{TC} = g_{CC} + g_{TT}$$

したがって、 $Z=0$ にあるときの車頭時間の関係は車間時間に置き換えることができる。ここで車間時間における大型車の影響を g_{CC} に対する大型車の影響分を δ で表せば、

$g_{CT} = g_{CC} + \delta_{CT}$ 、 $g_{TC} = g_{CC} + \delta_{TC}$ 、 $g_{TT} = g_{CC} + \delta_{TT}$ によって、 $\delta_{TT} = \delta_{CT} + \delta_{TC}$ となる。 $Z=0$ のときは、大型車が2台連続する(TT)ときの影響を CT と TC の影響で置き換えることができ、TT 独自の影響を考えなくてもよいことを示している。このとき大型車混入率に無関係に大型車当量が一定値をとる。

$Z < 0$ のときは $\delta_{TT} > \delta_{CT} + \delta_{TC}$ 、 $Z > 0$ のときは $\delta_{TT} < \delta_{CT} + \delta_{TC}$ である。これらのとき CT、TC とは別に TT の影響を考える必要があり、大型車当量は大型車混入率に応じて変化する。

大型車当量が大型車混入率に応じて変化する場合、大型車混入率 $0 < p_T \leq 1$ において大型車当量の変化量の最大幅は、(11)または(12)式より、

$$\left| \frac{h_{TT}}{h_{CC}} - \left(\frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1 \right) \right| = \left| \frac{\delta_{TT} - (\delta_{CT} + \delta_{TC})}{h_{CC}} \right|$$

で表すことができる。明らかに飽和流では

$$\delta_{TT} - (\delta_{CT} + \delta_{TC}) < h_{CC}$$

であり、

$$\left| \frac{\delta_{TT} - (\delta_{CT} + \delta_{TC})}{h_{CC}} \right| < 1 \quad (13)$$

と考えてよい。

4. 車頭時間の実測値による大型車当量の推定

表-1 は、東京都内およびその近郊にある 15 交差点計 20 直進車線を対象に車頭時間を実測し、大型車当量を推定した結果である。実測した車頭時間は飽和流にある車両の車頭時間で、表-1 の車頭時間の値は、これらの車頭時間から CC、CT、TC、TT の組み合わせの車頭時間をそれぞれ抽出し平均した値である。車頭時間の算出に用いたデータは、飽和交通流率を実測するときにとられる車両の後端が停止線または横断歩道の側線を通じたときの時間である。このように求めた車頭時間を用いても3.の議論はそのままあてはまる。

表-1 の大型車当量の値は(9)式と(10)式によって求めた大型車当量のとり得る最大または最小の値である。大型車当量の値を全体的にみると、(9)式で推定した値(表中の A)が 1.43~1.86、(10)式で推定した値(表中の B)が 1.44~1.68 であった。地点ごとに両者の差をとった結果は絶対値で 0.01~0.23 の範囲にあり、(13)式の結果を裏づけている。しかも両者の差として高々0.3を見込めばよいであろうことが推測できる(多くの場合 0.2 未満)。

大型車当量の最大、最小の差が極めて小さくほぼ等しいと考えられる地点が 13 地点中(両者の差が得られた地点数)に 4 地点(-0.01~0.03)あった。両者が等しくなる条件は $Z=0$ 秒のときで、表-1 の 4 地点の Z 値をみると -0.04~0.06 秒である。 Z の符号は、13 地点中 8 地点が正、5 地点が負であった。必ずしも大型車混入率が増大すると大型車当量が大きくなるとはいえず、むしろ逆になる地点のほうが多かった。 Z は 3. の(2)の δ で述べたように大型車の影響を表す尺度であり、地点によって符合の異なる Z が存在することは、大型車の影響の特性が

表－１ 車頭時間の実測データに基づく大型車当量の推定値

地点	車頭時間				$h_{CC} + h_{TT}$	$h_{CT} + h_{TC}$	Z 値 ¹⁾	大型車当量		(A) - (B)
	h_{CC}	h_{CT}	h_{TC}	h_{TT}	①	②		(A) ²⁾	(B) ²⁾	
江田	2.12 (484)	2.76 (110)	2.74 (111)	3.05 (47)	5.17	5.50	0.33	1.59	1.44	0.16
橋本五差路	1.97 (772)	2.56 (175)	2.79 (166)	3.15 (60)	5.12	5.35	0.23	1.72	1.60	0.12
日野橋	1.82 (583)	2.58 (111)	2.47 (107)	2.87 (36)	4.69	5.05	0.36	1.77	1.58	0.20
西参道口 (第3車線)	1.94 (657)	2.89 (40)	2.43 (39)	5.75 (3)	4.85	5.32	-0.33	1.74	1.61	-0.18
西参道口 (第4車線)	1.86 (549)	2.33 (79)	2.19 (75)	2.99 (21)		4.52		1.43		
大原二丁目 (885)	2.07 (227)	2.50 (227)	2.67 (228)	3.14 (115)	5.21	5.17	-0.04	1.50	1.52	-0.02
大和田小前 (640)	2.08 (640)	2.97 (303)	2.44 (299)	3.02 (184)	5.10	5.41	0.31	1.60	1.45	0.15
大横町 (708)	2.03 (708)	2.97 (93)	2.27 (92)	3.15 (30)	5.18	5.24	0.06	1.58	1.55	0.03
東名入口 (第2車線) (1186)	2.00 (1186)	2.57 (297)	2.52 (296)	3.36 (93)	5.36	5.09	-0.27	1.55	1.68	-0.14
東名入口 (第3車線) (547)	1.92 (547)	2.62 (370)	2.33 (367)	2.88 (313)	4.80	4.95	0.15	1.58	1.50	0.08
若林踏切 (第1車線) (3244)	2.19 (3244)	2.74 (195)	2.94 (197)	3.95 (13)	5.36	5.68	-0.02	1.59	1.59	-0.01
若林踏切 (第2車線) (1848)	2.07 (1848)	2.70 (603)	2.64 (589)	3.29 (333)		5.34		1.58		
谷保 (1038)	1.78 (1038)	2.59 (137)	2.06 (136)	2.86 (22)	4.64	4.65	0.01	1.61	1.61	0.01
矢野口 (312)	2.05 (312)	2.61 (96)	2.37 (101)	3.12 (40)	5.17	4.98	-0.19	1.43	1.52	-0.09
西栗鴨 (771)	1.95 (771)	3.37 (49)	2.21 (47)	2.82 (3)	4.72	5.58	1.86	1.67	1.83	1.70
松原二丁目 (第2車線) (1644)	1.77 (1644)	2.89 (35)	1.83 (37)	3.18 (3)		4.92				
松原二丁目 (第3車線) (2633)	1.74 (2633)	3.03 (156)	1.89 (157)	2.91 (13)	4.46	5.81	0.47	1.86	1.63	0.23
松原二丁目 (第4車線) (2387)	1.65 (2387)	2.66 (183)	1.80 (178)	2.62 (17)		5.18				
仙川駅前 (第2車線) (1150)	2.03 (1150)	3.48 (203)	2.33 (206)	3.31 (57)	5.34	5.81	0.47	1.86	1.63	0.23
打越 (1531)	1.98 (1531)	2.91 (80)	2.27 (90)	3.34 (9)	5.18	5.18		1.62		

注 1) 車頭時間の()内の値はデータ数

2) Z 値 = $h_{CT} + h_{TC} - (h_{CC} + h_{TT})$

3) (A)は $(h_{CT} + h_{TC})/h_{CC} - 1$, (B)は h_{TT}/h_{CC} で算出した乗用車換算係数

4) 斜線部は h_{TT} のデータ数が少ない(20以下)ために計算していない。

一律ではないことを示している。

5. おわりに

本稿で、従来曖昧のまま用いられていた大型車当量の推定式 $\frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1$ と $\frac{h_{TT}}{h_{CC}}$ の関係、およびこれ

らと大型車混入率の関係を明らかにした。大型車当量は(8)式によって推定するのが基本である。しかし、実際には大型車が2台連続するときの車頭時間 h_{TT} のデータがわずかしき得られず推定に用いられない場合がある。その場合、 $\frac{h_{CT} + h_{TC}}{h_{CC}} - 1$ を用いればよ

いであろう。大型車当量の変化量の最大幅(<1 、今回の実測では高々0.3)からみて、(8)式で得られる値との差は「最大幅 $\times p_T$ 」であり、大型車混入率 p_T が小さければ(8)式の代わりに用いてほとんど問題は

ない。

今後の課題として、大型車の影響の特性が地点によって異なることから、 Z 値の符号と地点条件(たとえば車線幅員)との関係を明らかにする必要がある。

本研究は平成10年度文部省科学研究費補助金(一般研究(C))を得て実施したことを記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 交通工学研究会：道路交通容量調査マニュアル検討資料VOL. 2, 1995
- 2) 外井哲司, 河野辰男, 柴田正雄：信号交差点の交通容量に関する研究～飽和交通流率の影響要因分析～, 交通工学 Vol.24, No.2, pp7-18, 1989
- 3) 岡野秀男, 小田勝也, 竹下正俊：臨海部道路における実態観測に基づく交差点の交通容量に及ぼす大型車の影響分析, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第4部, pp668-669