

道路の交通機能を考慮した大型車の乗用車換算係数に関する研究 A Study on Passenger Car Equivalent of Heavy Vehicles Considering Road Traffic Functions

中林 悠¹, 青山 恵里², 下川 澄雄³, 吉岡 慶祐⁴

Yu NAKABAYASHI¹, Eri AOYAMA², Sumio SHIMOKAWA³ and Keisuke YOSHIOKA⁴

大型車は車長や性能が乗用車と異なるため交通容量に影響をもたらす。このため、大型車の乗用車換算係数（PCE）を用いて交通容量を補正している。信号交差点では、「道路の交通容量」に示されているPCEを用いているが、近年は大型車の車両性能の向上などに伴い見直しが指摘されている。一方、わが国の幹線道路ネットワークは概成しつつあるが、これにより道路の交通機能も分化され、トリップ特性に応じた道路の使い分けがなされるのと同時に大型車の利用特性も変化することが予想される。これらを踏まえ、本研究では、道路の機能階層の異なる複数の交差点においてPCEの算出を行った。さらに、これらを説明する大型車の交通特性との関係についても明らかにしPCEの定式化を行った。

Keywords: 大型車の乗用車換算係数, 道路の交通機能, セミトレーラ連結車, 車尾時間, 占有時間

1. はじめに

信号交差点の計画・設計において、大型車は車長や車両性能が乗用車と異なることから交通容量に影響をもたらす。そのため、交通容量の算出にあたっては、飽和交通流率の基本値に対して大型車の乗用車換算係数（以下、「PCE」という）による補正が行われている。わが国では、1984年に発行された「道路の交通容量¹⁾」に示されている1.7を用いているが、近年は大型車の車両性能の向上や車両の大型化にともないPCEの見直しの必要性が指摘されている。

一方、わが国の幹線道路ネットワークは概成しつつあり、今後は道路の交通機能が分化され、トリップ特性に応じた道路の使い分けがなされるものと期待される。これは、道路の機能階層によって通行する大型車の交通量や車両諸元も異なることを示唆している。また、PCEは乗用車と大型車の車尾時間との相対関係によって決定される。車尾時間は車両の占有時間と車間時間で構成されるため、車長の長いセミトレーラ連結車などが多く通行するような機能階層の道路では、車両の占有時間が長くなり車尾時間も増加することとなる。つまり、異なる道路の機能階層をこれまでのような1つPCEで表わそうとした場合、交通容量にも差異が生じる可能性がある。

そこで本研究は、道路の交通機能と走行する大型車の諸元と交通特性に着目し、これらとPCEとの関係について分析と定式化を試みる。さらに、PCEの違いが交通運用に与える影響について考察を行うものである。

2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

大型車は交通容量に影響をもたらす要因の1つである。わが国では平面交差点の直進車線におけるPCEを1.7とし、これを飽和交通流率の補正值として用いている。この値は、1984年の「道路の交通容量¹⁾」に示され、規定値として扱われているが、今日までその見直しは行われていない。これに対して、米国では2010年に発行された「Highway Capacity Manual 2010²⁾」において2.0という値が示されている。しかし、その後2016年に発行された「Highway Capacity Manual 6th Edition³⁾」では、大型車混入率別にPCEを表しており、大型車混入率が5%の場合は1.8、30%の場合は2.0（いずれも勾配は0%）という値が示されている。また、2015年に発行されたドイツの「Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen⁴⁾」（HBS）では、トラックとバスが1.75、セミトレーラ連結車が2.5といったように車両諸元ごとにPCEの値が示されている。このように、諸外国ではPCEの値が逐次見直され、また車両諸元によって異なる値を用いるなど大型車の車両や交通特性を考慮した値の設定が行われている。

一方で、わが国においても、これまで実観測にもとづく研究が行われてきた。例えば、1970年の交通容量委員会の研究⁵⁾では、都内における直進車線および右左折専用車線の観測データをもとにPCEを算出した。その結果、直進車線は1.4～2.0程度の値が得られ、現在の規定値（1.7）の根拠となっている。なお、右左折専用車線のPCEは、1.1～2.6程度の値が得られたが、転向半径、車線数など道路構造の影響が含まれており一律に扱うことはできない

1 学生会員, 日本大学大学院理工学研究科交通システム工学専攻
〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 e-mail: csyu17013@g.nihon-u.ac.jp Phone: 047-469-5503
2 学生会員, 修士（工学）, TOP, 日本大学大学院理工学研究科交通システム工学専攻
3 正会員, 博士（工学）, 日本大学理工学部交通システム工学科
4 正会員, 修士（工学）, 日本大学理工学部交通システム工学科

としている。その後、1991年に桑原ら⁶⁾が、2000年に鹿田ら⁷⁾が、都内およびその近郊における観測結果からPCEを算出している。これによれば、PCEは1.4～1.6程度と規定値を下回る値が示された。これに加えて、1995年に池田ら⁸⁾は臨海部道路において、PCEを大型車とセミトレーラ連結車の別に観測している。その結果、PCEは大型車のみで算出した場合1.3～1.6程度、セミトレーラ連結車のみで算出した場合1.6～1.9程度の値となった。ただし、この研究では交差点一方を1つの値として示しており、直進車線と右左折専用車線の違いが表現されていない。

桑原以降の近年におけるわが国の研究をみると、いずれもPCEは1.7を下回る値が観測されている。また、セミトレーラ連結車など車長の違いによってもPCEの値が異なることが示唆されている。しかし、最近においてPCEを観測した実証的研究はみられない。一方、わが国では国際標準コンテナ車が積み替えなく通行できる、都市・拠点間を連絡する物流の幹線道路として「国際物流基幹ネットワーク⁹⁾」が選定されている。これら道路では車長の長い大型車が多く含まれるため、PCEは相対的に高くなるものと考えられる。これに対して、都市内の幹線道路では大型車の車長は総じて短くPCEは低い。このように、PCEに関する調査研究にあたっては、単に規定値との比較評価にとどまらず、道路の交通機能の違いにも着目する必要がある。そのため本研究では、これらについて考慮すべく、乗用車や大型車の車尾時間のみならず、車両の占有時間や車長を観測し、これらとPCEの関係にも着目した分析を行うものである。

3. 調査概要

3.1 道路の交通機能と調査対象交差点

わが国では幹線道路ネットワークが概成しつつあり、首都圏においても環状道路などの整備により交通の機能分化がさらに進むものと期待される。特に、環状七号線よりも内側の幹線道路は国際物流基幹ネットワークに選定されておらず、環状七号線外側の幹線道路と比べて交通特性は大きく異なるものと推察される。これらを踏まえ、本研究では、道路の交通機能を環状七号線よりも内側の多車線道路（都市内幹線道路）と環状七号線外側の国際物流基幹ネットワークを構成する道路または大型車混入率が高い多車線道路（都市間幹線道路）に分類し、さらに都市間幹線道路は「内陸部」とセミトレーラ連結車が多く通行する「臨海部」に細分した3つの階層とし比較評価を行う。そのため、これら各階層を代表する道路と信号交差点を抽出するとともに、表1に示す合計9箇所を調査対象交差点として選定した。なお、これら交差点は、特殊な幾何構造条件や発進流に影響を与えるよ

表 1 調査対象交差点

道路機能		交差点名	方向	昼間12時間 交通量(台) [※]	大型車 混入率(%) [※]
都市内 幹線道路		札の辻 国道15号(第一京浜)	上り	18,987	16.2
		天現寺橋 都道418号(明治通り)	上り	24,779	11.9
都市間 幹線道路	内陸部	環八東名入口 都道311号(環状8号)	下り	23,819	26.1
		妙法寺東 都道318号(環状7号)	下り	41,981	19.2
		塩浜 県道6号(東京大師横浜線)	下り	15,810	40.9
	臨海部	第6バス入口 都道316号(大井埠頭)	上り	7,458	56.0
		舞浜 国道357号(東京湾岸道路)	下り	30,500	46.6
		中瀬 国道357号(東京湾岸道路)	下り	37,595	29.1
	若葉 国道357号(東京湾岸道路)	下り	37,595	29.1	

※交通量、大型車混入率は平成27年度道路交通センサスによる

うな形状や縦断勾配は無いことを確認している。

3.2 データの取得方法

PCEを算出するための発進流時の車尾時間等の観測を行った。観測日時は、平成29年2月下旬から12月上旬の平日9時から12時までの3時間とし、交差点ごとに一定のサンプル数が得られるまで複数日実施した。計測方法は、「道路交通調査マニュアル検討資料¹⁰⁾」にもとづくものとし、多車線道路の直進車線を対象に、停止線を通過する各車両の通過時刻を記録し車尾時間、並びに車間時間、占有時間を算出した。分析にあたっては、滞留車両のうち発進遅れの影響がないと考えられる4台目以降の滞留車両を対象としている。しかし、実際には4台目以降の車両でも前車の発進に気づかないなどにより、車間時間が冗長となるケースも多くみられた。これらをサンプルから除くために、図1の全対象交差点における車間時間の累加曲線図を作成し、屈曲点となる3.0秒を超える車間時間が観測された車両以降のサンプルは全て除外した。また、大型車の判定は車長にもとづくものとし、「道路構造令の解説と運用¹¹⁾」に示されている小型自動車等の車両諸元および首都高速道路株式会社の判定方法を踏まえ、6m以上の車長を大型車と定義した。車長は図2に示すように、停止線と下流5mの2断面を通過する時間から速度を算出し、これに両断面を通過する車両の平均時間を乗ずることで求めた。

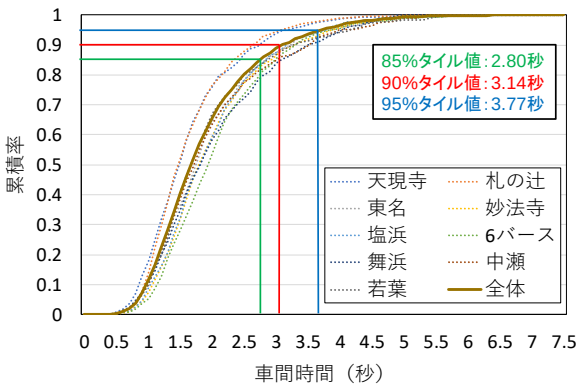


図 1 車間時間の累加曲線図

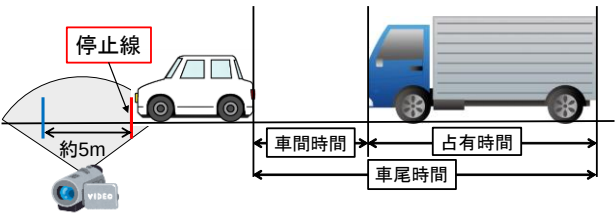


図2 車尾時間の構成と車長の計測方法

4. 道路の交通機能と車両特性

4.1 車種分類の定義の確認

PCEは大型車の車尾時間が乗用車のそれの何倍に相当するかを示す指標であり、厳密には乗用車との相対関係である。これに対し、既往研究では、乗用車に小型貨物車を加えた小型車に置き換えてPCEを算出している。これは車種を分割することによりPCEの算出が複雑になることに加えて、乗用車と小型貨物車は乗用と貨物という用途の違いであって、一般に小型車として扱われていることによるものと考えられる。これは道路交通センサス¹²⁾でも同様であり、道路交通センサスによる車種分類はナンバープレートを用い、乗用車は3・5など、小型貨物車は4・6などとしており、これを合せて小型車と称している。しかし、このことが乗用車と小型貨物車とを同じとして扱ってよいかを説明したことにはならない。そこで、小型車のサンプルが比較的多い都市内幹線道路である札の辻交差点において、車長6m未満の車両のうちナンバープレートの判別で3・5ナンバーを乗用車、4・6ナンバーを小型貨物車として車尾時間の比較を行った。

図3は、前後の車種が小型車同士の場合の乗用車と小型貨物車の平均車尾時間等を比較したものである。乗用車と小型貨物車の平均車尾時間および15パーセンタイル値、85パーセンタイル値の差は0.1秒にも満たず、母平均の差の検定も有意水準5%では有意な差とは判定されなかった。このことから、乗用車と小型貨物車は一律に小型車として扱うことに問題はないと判断され、本研究でも車長6m未満を小型車とし、これを乗用車とみなして分析を行うこととする。

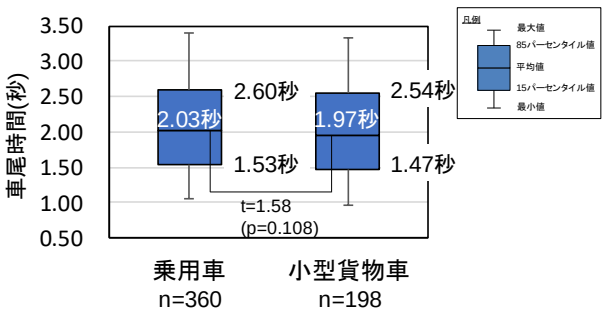


図3 乗用車と小型貨物車の車尾時間

4.2 大型車の車長構成

図4は、各交差点で観測された大型車の車長分布を示している。都市内幹線道路では6~9mが7割以上と車長が短い大型車の割合が高い。これに対し、都市間幹線道路は、6~9mが5割程度かそれを下回り、車長の長い大型車の占める割合が高い。また、都市間幹線道路について内陸部と臨海部で比較すると、12m以上の割合が内陸部では20%程度であるのに対し、臨海部では30~50%程度と大きな違いがあることがわかる。

これを平均車長で比較すると、都市内幹線道路は7~8m、都市間幹線道路の内陸部では9~10m、臨海部では10mを超えている。

以上のように、本研究で分類した道路の機能階層によって大型車の車長構成や平均車長が異なることが確認された。

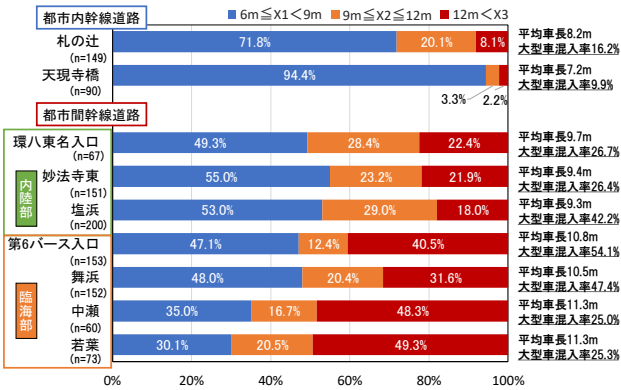


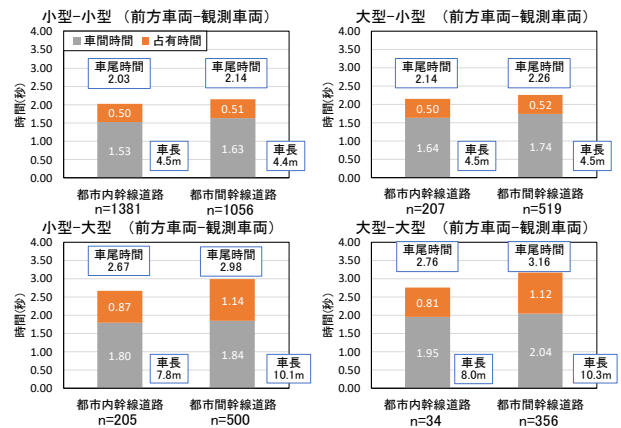
図4 各交差点における大型車の車長分布

4.3 車尾時間と占有時間、車間時間

図5は、車種別の車尾時間、車間時間、車両の占有時間の平均値を前方車の車種別、道路の機能階層別に示している。まず車間時間に注目すると、前方車の車種に関わらず小型車よりも大型車の方が車間時間は長い。また前方車が小型車に比べ大型車の方が車間時間は長い。さらに、同じ車種の組み合わせでも都市内幹線道路に比べて都市間幹線道路の方が車間時間は長く車間を開けて走行している。次に、占有時間に注目すると、小型車は都市内幹線道路と都市間幹線道路で同程度であり、道路の機能階層による違いはみられない。これに対して、大型車は道路の機能階層による明らかな違いがみられる。これは大型車の車長の違いに他ならない。これらより、車尾時間は前方車の車種に関わらず小型車よりも大型車の方が長く、都市内幹線道路よりも都市間幹線道路の方が長いことが確認された。なお、これは都市間幹線道路の内陸部と臨海部においても同様であり、臨海部の方が長い傾向にある。

図6は、上記を踏まえ、前方車が小型車の場合を例に、大型車の車長を12m未満と12m以上で分類した車尾時

間、車間時間、車両の占有時間の平均値を道路の機能階層別に示している。このうち、車間時間は車長が12m未満よりも12m以上の方が長いことがわかる。また、道路の機能階層別には、車長が12m以上では都市内幹線道路のサンプルが少ないものの、サンプル数の多い車長が12m未満では都市内幹線道路、都市間幹線道路ともに同程度の値である。次に、占有時間をみると、都市内幹線道路、都市間幹線道路のいずれにおいても、車長12m以上の占有時間が12m未満のそれを大きく上回っており、占有時間の違いが車尾時間にも影響をもたらしている。したがって、大型車の平均車尾時間は、とくにセミトレーラ連結車に代表される12m以上のような車長の長い大型車の存在に着眼する必要がある。



と PCE の関係は平均車長や特車割合の違いで説明できるものと考えられる。

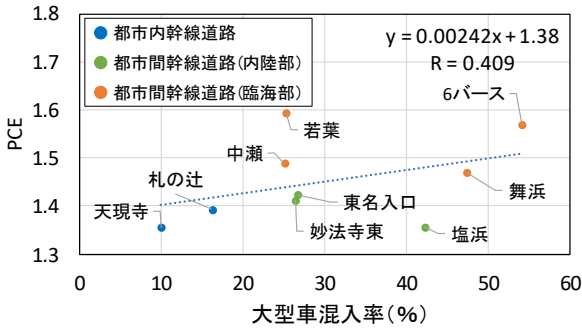


図7 大型車混入率と PCE の関係

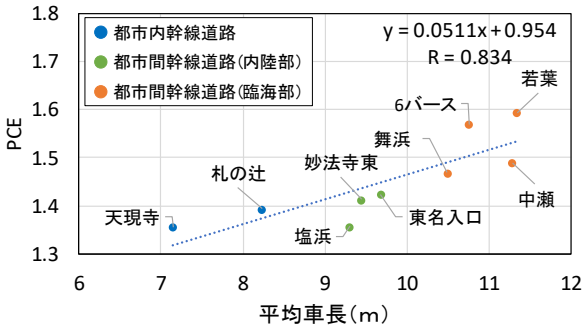


図8 大型車の平均車長と PCE の関係

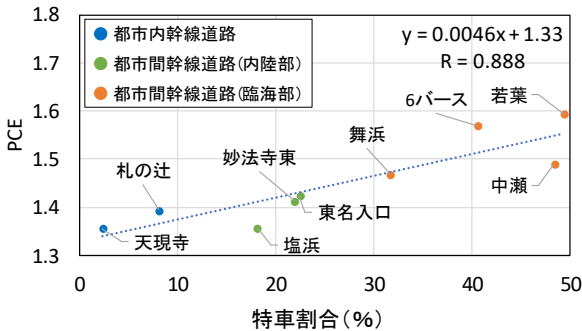


図9 特車割合と PCE の関係

5.3 PCE のモデル化

道路の交通機能の違いを考慮した PCE のモデル式を検討する。モデル式の説明変数として道路の交通機能を示すダミー変数（都市部ダミー、臨海部ダミー）を設定し、さらに 5.2 に示した大型車混入率、大型車の平均車長、特車割合を説明変数とした重回帰分析を行った。表 3 は、その結果を示している。これによれば、決定係数は高い値を示しているものの、t 値は符号が逆転していたり、その値も良好ではない。これは、5.2 をみても明らかなように、VIF（分散拡大要因）を計算するまでもなく各変数間で多重共線性を起こしているためと判断される。

一方、5.2 では、PCE は大型車の平均車長や特車割合と高い相関性があり、これにより道路の交通機能も表現できることを示していることから、PCE のモデル化にあたっては平均車長あるいは特車割合を説明変数とする単

回帰式で表現することが妥当であると考えられる。ここで、PCE の実務的な活用を考えた場合、セミトレーラ連結車の交通量を観測することは可能であっても大型車の車長を観測することは非現実的であると考えられる。

以上のことから、PCE の推定モデル式としては、特車割合を説明変数とした式(2)を用いるのが妥当であると判断される。

$$y = 4.60 \times 10^{-3}x + 1.33 \quad (2)$$

ここで、 y : PCE, x : 特車割合 (%)

表 3 PCE の重回帰分析の結果

説明変数	推定値	t値
大型車混入率 (%)	1.94×10^{-3}	0.739
大型車の車長(m)	-1.82×10^{-2}	-0.197
特車割合 (%)	8.34×10^{-3}	1.020
都市部ダミー	1.11×10^{-1}	0.835
臨海部ダミー	-3.30×10^{-2}	-0.268
サンプル数	9	
決定係数 R^2	0.867	

※都市部ダミーは、都市間幹線道路を「0」、都市内幹線道路を「1」とした。
臨海部ダミーは、内陸部を「0」、臨海部を「1」とした。

5.4 PCE が交通運用に与える影響

本研究で得られた、都市内幹線道路と都市間幹線道路の PCE (それぞれ、1.4 と 1.6 とする) に対して規定値(1.7)を用いて交差点設計を行った場合との交通運用上の違いについて確認する。ここでは、図 10 に示すように仮想的な交差点として、単純 4 現示の右折車線付きの十字交差点を想定し、各流入部の断面交通量は流入部 A、C は 800 台/時、流入部 B、D は 600 台/時、大型車混入率、右左折率はともに 20%と仮定する。

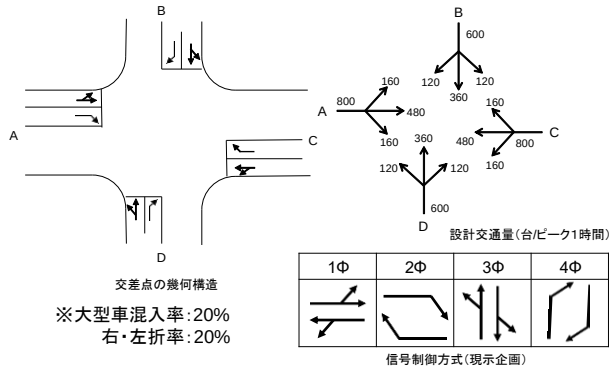


図 10 交差点設計の前提条件

PCE の値によって乗用車換算台数 (PCU) が異なるため、交差点需要率は規定値の 1.7 で計算した場合の 0.810 に対して、都市間幹線道路の 1.6 で計算した場合は 0.800、都市内幹線道路の 1.4 で計算した場合は 0.767 となる。その結果、図 11 のように、最適サイクル長はそれぞれ 121 秒、115 秒、99 秒となり、これまでよりも短いサイクル長で処理できることになる。また、このサイクル長の違

いが利用者に与える影響を確認するため、式(3)の Webster の遅れ時間の算出式を用いて、交差点全体の平均遅れ時間を算出した。

$$w = \frac{(1-g)^2}{2(1-\rho)}C + \frac{x^2}{2q(1-x)} \quad (3)$$

ここで、

w ：平均遅れ時間(秒), g ：青時間比

ρ ：交差点流入部の需要率, C ：信号サイクル長(秒)

q ：流入交通量(台/時), x ： ρ/g

その結果、遅れ時間は PCE を 1.7 で計算した場合 31.6 秒、都市間幹線道路の 1.6 で計算した場合 29.2 秒、都市内幹線道路の 1.4 で計算した場合 25.7 秒と算出された。つまり、規定値の 1.7 にもとづいてサイクル長を設定した場合、都市内幹線道路では約 6 秒交差点の遅れ時間が余分に生じることとなる。必要以上のサイクル長を設定することは利用者に対するサービスを低下させるだけでなく、無駄な右折滞留を生み出すなど過大な設計にも繋がる。PCE の値の精度を上げることは、需要特性に見合った交差点計画や設計を行う上で非常に重要である。

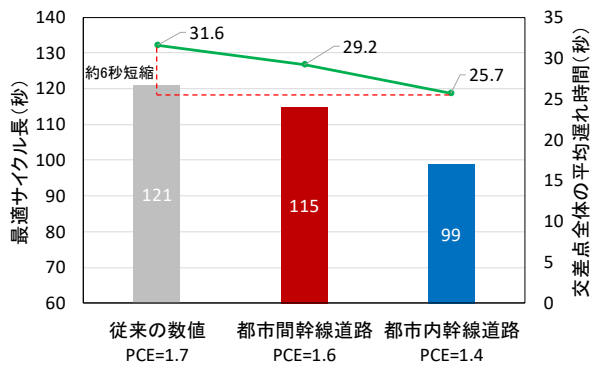


図 11 道路の交通機能別の PCE の比較

6. まとめと今後の課題

本研究では、道路の交通機能に応じて大型車の諸元や交通特性が異なることに着目し、交差点での発進流時の車尾時間の関係を占有時間と車間時間別に比較するとともに PCE を算出した。その結果、以下の知見を得ることができた。

- ①乗用車と小型貨物車の車長の母平均に有意な差はみられず、PCE の算出にあたりこれらを統合した小型車を用いても支障がないことを確認した。
- ②都市内幹線道路よりも都市間幹線道路の方が、また内陸部よりも臨海部の方が車間時間は長く、大型車の占有時間、車長も長い。
- ③これらにともなう車尾時間の違いは、とりわけセミトレーラ連結車に代表される車長 12m 以上といった車長の長い車両の存在が影響をもたらしている。
- ④PCE は全ての調査地点で規定値の 1.7 を下回ってお

り、適切な値を用いることは交差点設計において極めて重要であることを再確認した。

- ⑤一方で、PCE は道路の機能階層や大型車の平均車長、特車割合と一定の関係性が認められ、特に実務面を考慮すると特車割合で PCE を説明することが合理的であると判断される。

一方で、PCE が減少している要因として、大型車の車両性能の向上が考えられるが、PCE が乗用車と大型車の車尾時間との相対関係にあることを考えれば、青山ら¹³⁾が指摘している近年の飽和交通流率の減少による可能性も考えられる。

そのため、今後は対象交差点の追加による精度向上とともに、観測された PCE が規定値を下回っている原因についても分析を行っていききたい。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路の交通容量，丸善出版，1984.
- 2) Transportation Research Board：Highway Capacity Manual 2010, 2010.
- 3) Transportation Research Board：Highway Capacity Manual 6th Edition, 2016.
- 4) Forschungsgesellschaft für Straßenund Verkehrswesen：Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, 2015.
- 5) 交通容量研究委員会：信号交差点および織り込み区間の交通容量の研究，機関誌交通工学，Vol.14，No.4，pp.23-31，1970.
- 6) 桑原雅夫，陳鶴：大型車の乗用車換算係数に関する研究，生産研究，Vol.43，No.12，pp.606-609，1991.
- 7) 鹿田成則，片倉正彦，大口敬：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，土木計画学研究・論文集，No.17，pp.927-932，2000.
- 8) 池田秀文，竹下正俊，小田勝也，岡野秀男：臨海部道路における実態観測に基づく信号交差点の交通容量に及ぼす大型車の影響分析，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.681-690，1995.
- 9) 国土交通省道路局：国際物流基幹ネットワークについて，
<http://www.mlit.go.jp/road/press/press06/20060608/20060608.html>，2006.(2018.05.02)
- 10) (社)交通工学研究会 交通容量委員会：道路交通調査マニュアル検討資料 Vol.2 -信号交差点の飽和交通流率の求め方-，1995.
- 11) (公社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用，丸善出版，2016.
- 12) 国土交通省道路局：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査集計表，
http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000848.htm

1, 2016. (2018.05.02)

- 13) 青山恵里, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 森田綽之, 中林悠 :
信号交差点における飽和交通流率の基本値の経年変化に関する研究, 土木学会全国大会第73回年学術講演会, 2018. (投稿済み, 未発表)