

高速道路の車線減区間における 大型車の乗用車換算係数に関する分析

加藤 大知¹・柿元 祐史²・中村 英樹³

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))
E-mail:katou.daichi@j.mbox.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 附属持続的共発展教育研究センター
E-mail:kakimoto@urban.env.nagoya-u.ac.jp

³フェロー会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻
E-mail:nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

本研究では、大型車の乗用車換算係数（PCE : Passenger Car Equivalent）が、高速道路の車線減区間の渋滞発生確率の推定に影響を与える要因の一つとして捉え、都市間高速道路に設置されている車両感知器のパルスデータを用いて、車線、平日/休日、交通量、大型車混入率によるPCEへの影響を明らかにすることを目的とする。本研究におけるPCEは、車線減区間の車線変更等の複雑な挙動による影響を考慮するため、車種構成別の平均車尾時間を用いて算出した。

算出結果より、PCEの値は、各車線、平日/休日によらず概ね1.3~1.5程度の値となった。また、PCEは、交通量の増加とともに大きくなり、大型車混入率の増加により小さくなる傾向が確認された。これらより、絞り込まれる登坂車線からの合流により車尾時間が短くなることが影響している可能性が示唆された。

Key Words : *intercity expressway, lane-drop section, capacity, passenger car equivalent*

1. はじめに

(1) 研究の目的

高速道路の渋滞発生を予測するうえで、交通状況や道路構造要因を踏まえ、交通容量とその変動特性を理解することは極めて重要である。また、近年では高速道路のボトルネックの交通容量は確率的に変動する¹⁾と考えられており、渋滞発生要因が比較的明確である車線減区間においても未だ研究²⁾が進められている。ボトルネックの交通容量を推定するにあたり、大型車の乗用車換算係数（PCE : Passenger Car Equivalent）は乗用車換算台数（pcu : passenger car unit）を把握するにあたり重要な係数であり、PCEの設定により渋滞発生確率が大きく変わる可能性があることをこれまでの研究³⁾で指摘している。

そこで本研究は、都市間高速道路の車線減区間のボトルネックについて、車両感知器生パルスデータ（以下、パルスデータ）により観測された車尾時間を用いて、車線、平日/休日、交通量、大型車混入率の4つの観点から、車線減区間の乗用車換算係数を算出し、各々の影響要因を分析することを目的とする。

(2) 既往研究

高速道路における大型車のPCEについては、これまでにも様々な研究がなされており、その研究結果はHCM³⁾にも記載されている。例えば、桑原・陳⁴⁾は、PCEが交通状況によって異なることを指摘し、パルスデータから得られる車尾時間を用いて、渋滞からの発進流について車線の違いによりPCEが変化することを明らかにし、従来の値⁵⁾（1.7~1.8）よりも低い値となる可能性を示した。また、辻ら⁶⁾は、渋滞安定時にける交通流を対象に交通量/交通容量比を用いて大型車混入率階層別にPCEを算出し、PCEは観測する交通流の状態が発進流か渋滞安定時かの交通状況によっても異なることを示している。さらに、List, et al.⁷⁾は、マイクロ交通流シミュレーターを用いて勾配と大型車混入率の違いによるPCEの変化を把握しており、大型車混入率が増加するに従いPCEが増加することを示している。しかしながら、車線減区間のような車両の車線変更等の複雑な挙動が発生する区間に対して、交通量の変化によるPCEへの影響について考察した研究事例はなく、車線減区間の渋滞発生確率推定に極めて必要となることから、本研究ではこの点に着目する。

2. 分析概要

(1) 分析対象区間およびデータ

本研究では、図-1に示す東名阪自動車道上り亀山JCT下流区間を対象に分析を行う。東名阪自動車道は愛知県西部と三重県を結ぶ都市間高速道路であり、渋滞頻発区間が数多く存在する。図-1に示す区間は其中之一であり、登坂車線の絞り込みによる車線の減少が渋滞に影響していると考えられる。分析データは、2016年11月9日13時20分から2016年12月31日23時59分までの約2ヶ月間のパルスデータである。パルスデータにより車両1台ごとの通過時刻が記録されており、これにより、通過速度、車種、車頭時間、車尾時間などが取得可能である。さらに、このデータをから集計した1分間交通量や車線別の大型車混入率も用いる。

(2) データクレンジング

本研究では、車両感知器の誤検知や事故、工事規制等の交通のイベント時を除外するとともに、車線別の交通量-速度図(Q-V図)から判断して渋滞時のデータを排除した(図-2)。具体には、登坂車線は40km/h、走行車線は60km/h、追越車線は70km/h未満を除外した。さらに交通容量に対する天候の影響⁹⁾を排除するため、晴天日のデータのみを使用する。

(3) 対象区間の交通状況

対象区間における車線別平均大型車混入率、車線利用率を、図-3と図-4にそれぞれ示す。対象区間は大型車が非常に多く走行しており、追越車線においても交通量の少ない時では40%程度の混入率となっている。また、車線利用率は、交通量が増えるにつれて追越車線の利用率が増加し、登坂車線の利用率は減少する傾向にある。特に断面交通量20~40veh/minでは車線利用率にばらつきがあり、車線変更などの挙動が窺える。

(4) 乗用車換算係数(PCE)の算出方法

PCEの算出方法は、車両を個別に観測しミクロに算出する手法と交通流全体を観測しマクロに算出する手法があるが、車線減区間では車線変更の影響など前後車両の関係を緻密に反映する必要があることから、ここではミクロに算出する手法を用いる。そこで、桑原・陳⁴⁾に倣い、前後の車種構成別の平均車尾時間を用いた算出方法を用いる。PCEの定義により、式(1)が成立する。

$$H_i = H_{SS_i} \cdot (1 - P_i) + H_{SS_i} \cdot PCE_i \cdot P_i \quad (1)$$

ここに、

H_i : 車線*i*の混合交通の平均車尾時間

H_{SS_i} : 車線*i*の小型車-小型車の場合の平均車尾時間

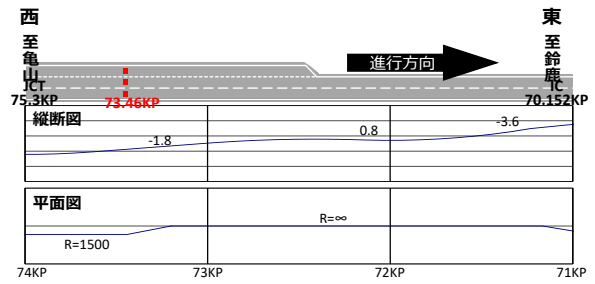


図-1 分析対象区間の幾何構造と車両感知器の位置

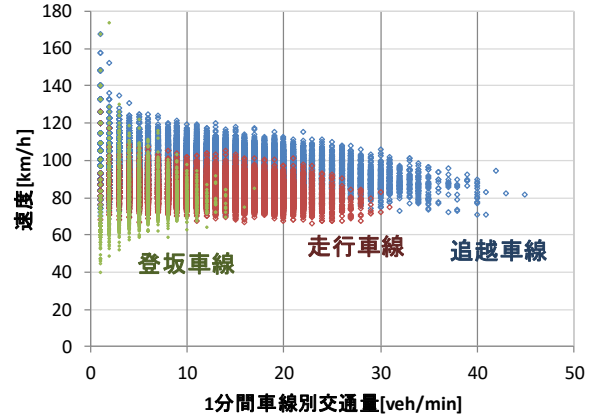


図-2 分析対象区間の車線別のQ-V図

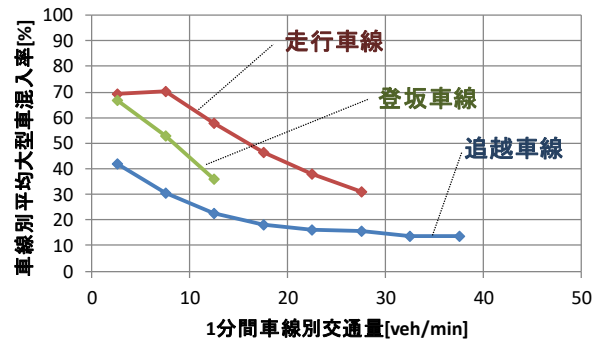


図-3 分析対象区間の車線別の平均大型混入率 (50台以上)

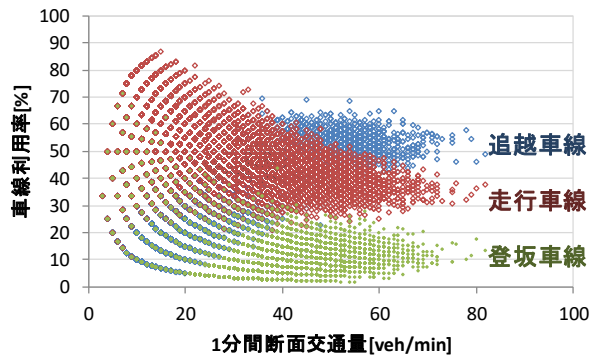


図-4 分析対象区間の車線利用率

P_i : 車線*i*の大型車混入率 ($0 \leq P_i \leq 1$)

i : 0 登坂車線, 1 走行車線, 2 追越車線

混合交通の平均車尾時間*H*は各車種構成別に、平均車尾時間×出現確率を求め、その和で表すことができる。ここで各車種構成の出現確率はサンプル数が十分である場合、各々の車種の組合せの確率は次のように表せる。

$$Pr ob(\text{小型車}-\text{小型車}) = (1 - P_i) \cdot (1 - P_i)$$

$$Pr ob(\text{小型車}-\text{大型車}) = (1 - P_i) \cdot P_i$$

表-1 車線毎のサンプル数一覧表 (着色: 50サンプル以上)

大型車混入率[%]	車種構成	(0)登坂車線						(1)走行車線						(2)追越車線							
		交通量階層[veh/min]						交通量階層[veh/min]						交通量階層[veh/min]							
		1~10		11~20		21~30		1~10		11~20		21~30		1~10		11~20		21~30		31~40	
		平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日
10~20	SS	204	978	0	153	0	0	16	473	449	8,901	89	3,453	2,310	2,121	19,629	6,947	14,787	4,224	2,654	629
	LS	54	199	0	26	0	0	4	96	114	1,620	18	680	452	426	3,769	1,282	2,743	709	463	103
	SL	14	64	0	15	0	0	1	62	80	1,256	18	517	271	273	2,694	937	2,112	561	387	89
	LL	1	2	0	5	0	0	0	4	13	212	6	117	3	4	453	153	467	106	97	19
20~30	SS	475	1,100	21	73	0	9	54	556	2,268	9,491	1,008	2,980	2,075	1,006	15,542	1,755	10,609	631	1,653	25
	LS	226	469	7	17	0	2	27	210	862	3,235	337	922	850	454	5,491	637	3,457	194	522	6
	SL	48	123	3	6	0	3	11	167	658	2,540	284	780	565	294	4,054	464	2,791	157	450	5
	LL	17	38	0	7	0	3	2	39	251	982	137	311	149	68	1,442	162	1,049	56	164	3
30~40	SS	413	557	38	56	0	0	118	468	5,336	5,935	1,761	1,465	1,278	293	6,439	368	3,121	47	334	0
	LS	356	466	17	25	0	0	55	244	3,037	3,085	939	698	886	264	3,634	209	1,570	27	156	0
	SL	104	125	7	14	0	0	47	218	2,262	2,477	772	578	545	172	2,653	181	1,291	13	139	0
	LL	67	60	10	17	0	0	20	109	1,471	1,522	533	360	265	74	1,668	101	783	13	92	0
40~50	SS	531	386	36	34	0	0	148	339	7,260	2,711	2,421	303	689	162	2,390	92	666	0	29	0
	LS	519	349	32	15	0	0	110	302	5,733	2,121	1,710	205	737	165	1,914	102	511	0	25	0
	SL	159	100	14	9	0	0	92	242	4,526	1,814	1,478	183	518	124	1,372	75	428	0	22	0
	LL	156	115	17	7	0	0	81	185	4,234	1,553	1,460	156	435	97	1,412	57	372	0	17	0
50~60	SS	738	322	28	12	0	0	232	317	8,385	1,243	1,672	49	582	99	958	25	120	4	0	0
	LS	1,216	549	27	7	0	0	330	385	9,653	1,423	1,834	62	1,073	204	1,257	27	136	3	0	0
	SL	391	163	20	3	0	0	276	384	7,783	1,217	1,602	52	719	131	895	30	113	4	0	0
	LL	566	228	27	12	0	0	350	399	10,531	1,635	2,103	75	813	136	1,376	36	145	6	0	0
60~70	SS	402	90	17	2	0	0	233	173	4,343	371	588	0	286	29	380	13	48	0	0	0
	LS	1,363	357	19	1	0	0	493	361	7,956	629	891	0	824	85	791	17	87	0	0	0
	SL	444	122	6	0	0	0	397	342	6,538	598	780	0	549	75	574	12	63	0	0	0
	LL	1,030	304	32	6	0	0	832	633	13,296	1,168	1,614	0	1,116	136	1,362	33	149	0	0	0
70~80	SS	110	9	3	0	0	0	166	74	1,413	60	71	3	78	3	97	0	17	0	0	0
	LS	831	131	13	0	0	0	711	245	4,290	206	177	3	480	41	369	9	39	0	0	0
	SL	298	41	6	0	0	0	633	257	3,650	188	150	2	343	26	273	7	33	0	0	0
	LL	1,104	153	23	0	0	0	1,944	753	11,512	588	473	11	1,053	79	942	21	102	0	0	0
80~90	SS	10	0	3	0	0	0	48	8	329	14	3	0	8	0	12	0	3	0	0	0
	LS	747	73	10	0	0	0	695	140	2,134	82	20	0	216	14	128	0	9	0	0	0
	SL	268	33	5	0	0	0	607	135	1,933	65	17	0	157	13	97	0	7	0	0	0
	LL	1,834	162	28	0	0	0	3,952	738	10,678	424	73	0	922	40	566	0	46	0	0	0

※大型車混入率0%~10%および90%~100%のサンプル数は非常に少ないため対象外とした。

$$Pr ob(大型車 - 小型車) = P_{t_i} \cdot (1 - P_{t_i})$$

$$Pr ob(大型車 - 大型車) = P_{t_i} \cdot P_{t_i}$$

よって、PCEは式(2)のように求めることができる。

$$PCE_i = \frac{(H_{SS_i} + H_{LL_i} - H_{SL_i} - H_{LS_i})}{H_{SS_i}} P_{t_i} + \frac{H_{SL_i} + H_{LS_i} - H_{LL_i}}{H_{SS_i}} \quad (2)$$

ここに、

H_{SL_i} : 車線*i*の小型車-大型車の場合の平均車尾時間

H_{LS_i} : 車線*i*の大型車-小型車の場合の平均車尾時間

H_{LL_i} : 車線*i*の大型車-大型車の場合の平均車尾時間

である。これにより、観測結果から得られる H_{SS} , H_{SL} , H_{LS} , H_{LL} , P_{t_i} を用いてPCEを算出することとする。

(5) 混合交通の車尾時間の抽出方法

パルスデータでは、全車両の車尾時間が観測されているため、本分析で用いる追従状態の車両の車尾時間のみ抽出する必要がある。Surasak, et al⁹⁾は平均相対速度と指数分布モデルより、限界車頭時間を求め追従車基準を先頭車が小型車なら3秒、大型車なら4秒と定めている。近年の近田・中村¹⁰⁾の研究においても、同様の結果が得られている。これらを踏まえて、後続車両が小型車は3秒、大型車は4秒を追従車基準とし、車尾時間を抽出した。

3. 車尾時間に与える影響要因分析

(1) 分析方法

前章の式(2)より、車尾時間の変化がPCEに影響することから、各車種構成別の車尾時間が車線、平日/休日、車線別の交通量、車線別の大型車混入率による影響につ

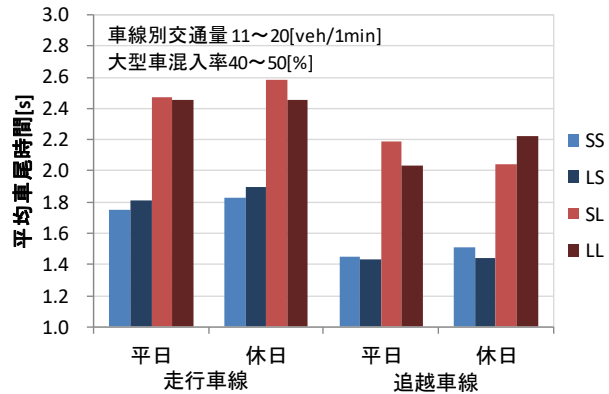


図-5 車線別の平均車尾時間

いて分析を行う。分析において、各車種構成でサンプル数が50台以上のデータを用いる(表-1)。

(2) 車線による影響分析

図-5に、車線別の車種構成別平均車尾時間を示す。登坂車線は、サンプル数が少なく比較が困難なため割愛する。車線別にみると、いずれの車種構成においても、追越車線では走行車線に比べて平均車尾時間が小さいことがわかる。これは、追越車線の平均速度が高く、先を急ぐドライバーが多く、車間距離を詰めることが要因と考えられる。また、追越車線は H_{LS} (大型車-小型車)が、 H_{SS} (小型車-小型車)に比べて小さくなる傾向があり、追越車線を走行している大型車を追い抜くため車間距離を詰める傾向が窺える。車線減区間の特徴から走行車線は、登坂車線からの合流の影響を受けやすく、合流により車間距離が短くなると考えられたが、その傾向は確認されなかった。

(3) 交通量による影響分析

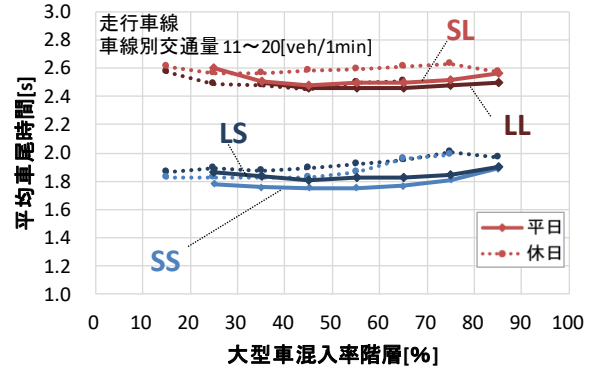
表-2に、交通量別の車種構成別平均車尾時間を示す。いずれの車種構成においても、交通量が増えると平均車尾時間が小さくなることが確認された。また、後続車が大型車の場合 (H_{SL} と H_{LL}) は、後続車が小型車の場合 (H_{SS} と H_{LS}) と比較して、平均車尾時間が約1秒程度大きいことがわかる。これは、車長の違いの影響に加え、大型車は交通量にかかわらず小型車に比べて長い車間距離を保つことが考えられる。この傾向は他の大型車混入率においても同様の傾向であった。

(4) 大型車混入率による影響分析

図-6に、大型車混入率の車種構成別平均車尾時間を示す。大型車混入率による変化はいずれの車種構成においてもあまり見られないことがわかる。この傾向は他の交通量階層や他の車線においても同様の傾向であった。

表-2 交通量別の平均車尾時間 (大型車混入率 40%~50%)

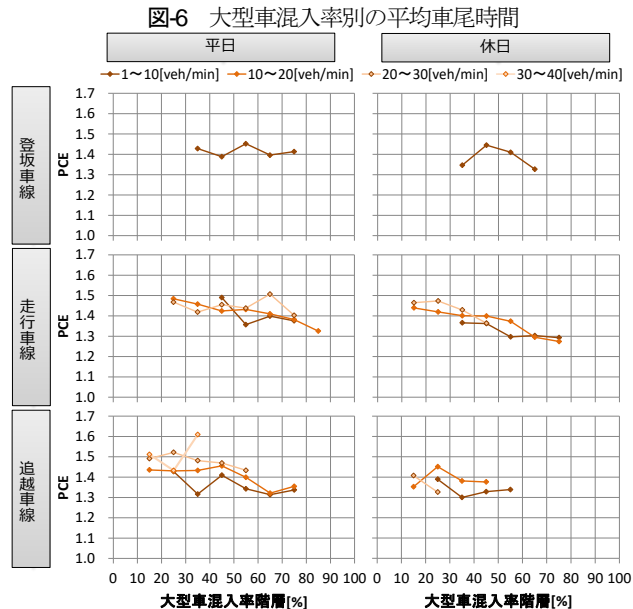
平 休 日	交通量 [veh/1min]	平均車尾時間[s]							
		SS		LS		SL		LL	
		走行	追越	走行	追越	走行	追越	走行	追越
平日	1~10	1.93	1.60	1.94	1.55	2.91	2.39	2.82	2.14
	11~20	1.75	1.45	1.81	1.43	2.48	2.19	2.46	2.04
	21~30	1.62	1.30	1.69	1.30	2.33	1.94	2.31	1.88
休日	1~10	1.98	1.69	2.06	1.69	2.63	2.37	2.70	2.07
	11~20	1.83	1.51	1.89	1.44	2.58	2.04	2.45	2.23
	21~30	1.71	-	1.70	-	2.38	-	2.29	-



4. PCEの算出結果

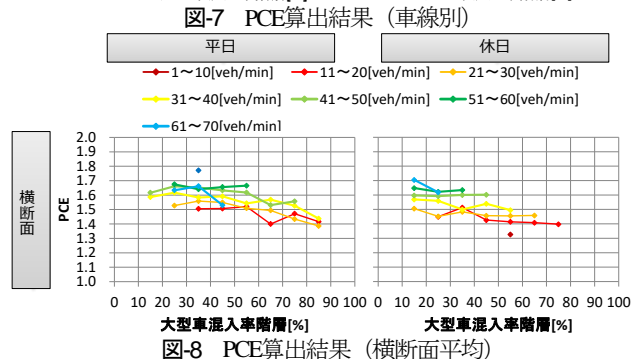
PCEの算出結果を車線別、平日/休日別に比較したものを図-7に示す。PCEの値は、各車線、平日/休日概ね1.3~1.5程度の値をとることがわかる。また、大型車混入率が増加するにつれて、走行車線と追越車線でPCEの値が減少傾向にあることがわかる。これは、車線減少区間という特徴から、登坂車線から走行車線への車線変更や走行車線から追越車線への車線変更により、車間距離が短くなるためだと考えられる。さらに、交通量が増加するとPCEは大きくなる傾向にある。特に、大型車混入率が低い場合は、車線交通量に占める大型車の台数が少なくなることから、大型車の影響が大きくなると考えられる。

車線別のPCEの傾向を比較するため横断面 (全車両) での算出結果を図-8に示す。交通量増加とともに、PCEが大きくなる傾向および、大型車混入率の増加により、PCEが小さくなる傾向は車線別の結果と同様である。



5. おわりに

本研究では車線減少区間においてミクロな視点から各車種構成別の平均車尾時間を用いて、車線、交通量、平日/休日、大型車混入率別にPCEの算出を行った。走行車線においては大型車混入率の増加により、PCEが小さくなることを示した。また、交通量の増加によってPCEが大きくなることを示した。今後は、通常の走行区間と比較することで、車線減少区間の特性をさらに明確にするとともに、車線利用の特性や、合流位置による影響を分析し、車線減少区間の特徴をより踏まえたPCEの推定を行う。



謝辞：本研究の実施に際して、データの提供など便宜を図っていただいた中日本高速道路株式会社名古屋支社の関係各位、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社の近田博之氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Brion, W., Geistefeldt, J. and Regler, M. : Reliability of Freeway Traffic Flow : Astochastic Concept of Capacity, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.125-144, 2005.
- 2) 加藤大知, 後藤梓, 中村英樹 : 車線減区間における確率的な渋滞発生現象に関する分析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.
- 3) Transportation Research Board : Highway Capacity Manual -the 6th edition-, Vol.2, 2016.
- 4) 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, 第 43 卷, 12 号, pp.606-609, 1991.
- 5) 日本道路協会 : 道路の交通容量, pp.31, 1984.
- 6) 辻光弘, 米川英雄, 卷上安爾 : 高速道路と自動車, 第 43 卷, 第 7 号, pp.20-28, 2000.
- 7) List, G F., Yang, B. and Roupail, N M. : On the Treatment of Trucks for Analysis of Freeway Capacity , Transportation Research Record, No.2483, pp.120-129, 2015.
- 8) Chung, E., Ohtani, O., Warita, H., Kuwahara, M. and Morita, H. : Dose weather affect highway capacity, Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, 2006
- 9) Surasak, T., Okura, I. and Nakamura, F. : Study of Platoon Characteristics on a Multi-Lane Expressway, 土木計画学論文集, No.18, Vol.5, pp.909-918, 2001.
- 10) 近田博之, 中村英樹 : 高速道路における車種別車頭時間分布と追従確率の推定, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.

(2017.7.31 受付)

AN ANALYSIS OF THE PASSENGER CAR EQUIVALENT FOR HEAVY
VEHICLE AT A MOTORWAY LANE-DROP SECTION

Daichi KATO, Yuji KAKIMOTO and Hideki NAKAMURA