

都市間高速道路における渋滞発生現象に関する一考察

日本大学大学院理工学研究科交通システム工学専攻

学生会員 ○酒井 克典

日本大学理工学部交通システム工学科

正会員 下川 澄雄

日本大学理工学部交通システム工学科

正会員 吉岡 慶祐

日本大学理工学部交通システム工学科

非会員 齊藤 樹

1. はじめに

都市間高速道路のボトルネック(以下、「BN」という)における渋滞発生直前交通量(以下、「BDF」という)は変動することが知られている。この原因としては、明暗、天候などの交通環境のほか、個々の車両挙動特性も要因の一つに挙げられることが既往研究^{1), 2)}などを通して知られている。しかし、これらの多くは、感知器データから得られるBDFを基に、交通容量の変動を確率的現象として表現しており、個々の車両の挙動特性の違いが交通容量の変動に繋がる現象を説明しているわけではない。

一方、渋滞発生時の交通現象を車群特性の観点から分析した研究例^{3), 4)}もあり、渋滞を発生させる車群に共通する特性を明らかにしている。しかし同様の車群でも必ず渋滞が発生することを示しているわけではない。これは、車群だけでは個々の車両挙動特性が渋滞発生の原因となることを説明できない可能性があることを意味するものであると考えられる。

そこで本研究では、都市間高速道路の単路部BNにおける渋滞発生時の交通現象について、車群に代わる新たな表現方法を提案し、これを用いて個々の車両挙動が渋滞発生時の交通現象に与える影響について明らかにしようとするものである。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

渋滞発生時の交通現象については、これまでも様々な研究が行われている。

例えば大口ら³⁾は、中央自動車道下り元八王子バス停付近および東名高速道路上り綾瀬バス停付近のBNを対象に、渋滞発生直前の車群特性について分析している。その結果、渋滞を発生させる車群の多くは平均車頭時間が1.5秒程度でかつ比較的構成台数が多い車群であることを明らかにしている。また、邢ら⁴⁾は、関越自動車道上り花園IC付近のBNを対象とした分析から、渋滞を発生させる車群に共通する特徴として、追越車

線において車群フローレート2,400台/時以上(大口ら³⁾の1.5秒に相当)、車群構成台数が概ね20台以上であることを示している。しかし、いずれの研究においても、渋滞が発生したときの車群の特徴を示しているに過ぎず、渋滞の発生に至る現象を捉えているわけでもない。

これに対し本研究は、個々の車両挙動が渋滞の発生をもたらす状況を客観的に表現すべく、車群に代わる新たな表現方法を用いて明らかにしようとするものである。

3. 分析対象地点および対象データ

分析対象地点は関越自動車道上り高坂サグ(33.0kp付近)である。当該区間は片側4車線であり、一番左側の車線には付加車線が設置されているが、渋滞発生前後においてほぼ利用はされていないため、付加車線を除いた3車線を分析対象とした。分析に当たっては2017年7月16日に行った現地調査にて取得したビデオデータを使用した。このビデオデータは高速道路上に設置されている跨道橋から撮影したものであり、後日各車両の速度と前車との車頭時間を計測し分析を行った。撮影は複数箇所で行ったが、今回はBN直近上流にあたる33.3kpのビデオデータを使用した。BNの位置と撮影地点の位置関係を図-1に示す。

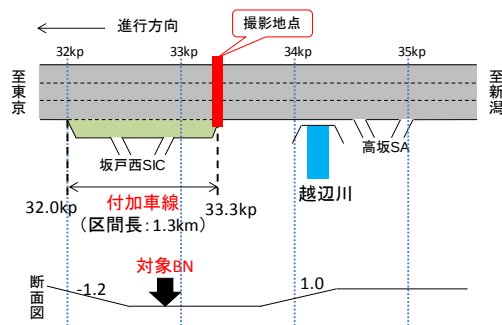


図-1 高坂サグ付近の断面図

4. 渋滞発生前の交通状況と新たな表現方法の提案

図-2は分析対象地点である33.3kpにおける、全車線1分間平均速度の変化を示している。また、図-3は同日の車両感知器データより作成した速度コンター図

である。この日の渋滞は、高坂サグを先頭とする典型的な交通集中渋滞である。ここで渋滞は、「60km/h 以下の低速走行が、15 分以上継続した状態」と定義した。60km/h 以下となった時刻は 15 時 15 分であった。そこで渋滞発生時刻を 15 時 15 分とし、それよりも前の時間帯を渋滞発生前として分析を行った。

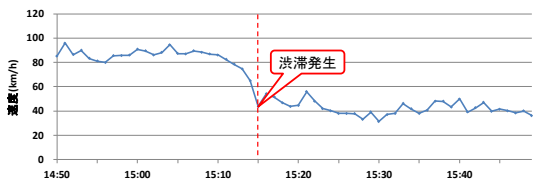


図-2 全車線 1 分間平均速度の変化

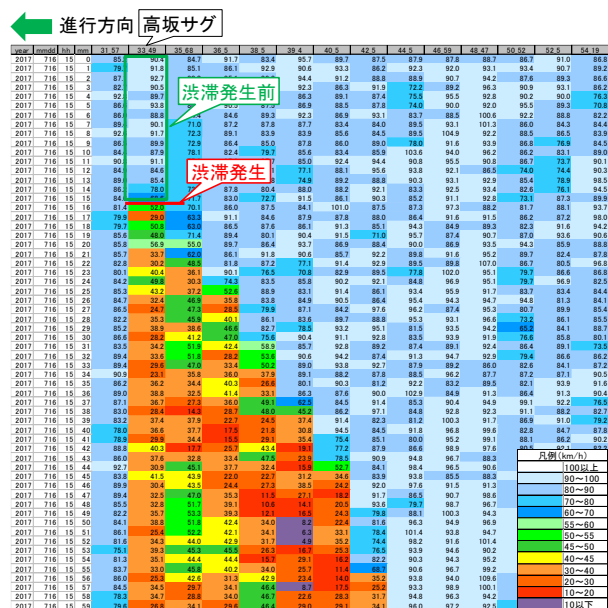


図-3 速度コンター図

4. 1 渋滞発生前の交通状況

図-4 はビデオデータより抽出した渋滞発生前の交通状況を模式的に示した図である。渋滞発生前の状況を整理すると、全車線で車がほとんど走っていない時間帯が続いた後、第 1, 第 2 車線に低速大型車が並走する状況が確認された。その後、短い間隔で車が到着するため徐々に速度が低下していき、渋滞が発生した。これは、第 1, 第 2 車線が低速車によってブロックされ、追い越しが第 3 車線からでしかできなくなり、車が第 3 車線に集中することによって渋滞発生に結びついたことが考えられる。

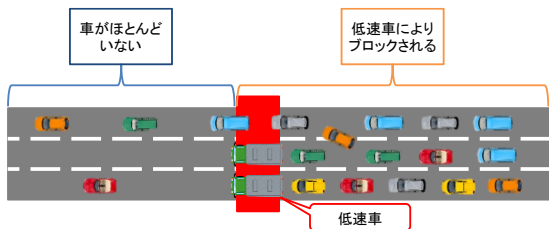


図-4 渋滞発生前の交通状況

4. 2 渋滞発生前の交通状況の新たな表現方法

前述の通り、渋滞が発生する直前においては、速度の低い大型車の並列走行など渋滞のきっかけとなる何らかの要因が発生していることが想定される。このような低速車両により後続車両がブロックされる状況は、車群単位ではなく比較的大きな車両のかたまりを 1 つの単位とした方が表現しやすい。そこで本研究ではこれを表現する方法として、図-5 に示すようにマス (Mass) という新たな表現方法を提案する。なお、本研究では、このマスを以下のように定義する。

- ① 各車線について車頭時間 3 秒未満の車両が連続しているものを「車群」とする。
- ② いずれかの車線に車群が存在している時間の間隔が 2 秒未満であれば 1 つの「マス」とする。
- ③ ただし、1 つのマスが 10 秒以上継続しないものはマスとして認めない。

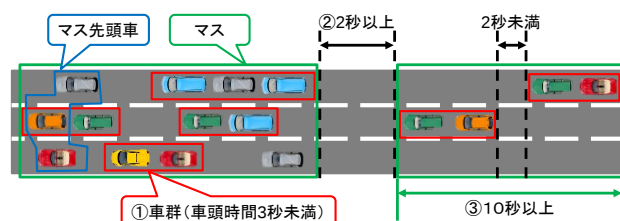


図-5 マスの定義

図-6 は、渋滞発生前後における観測断面上を通過した際の車頭時間と速度を車線別に示すとともに、前述の定義に基づき、マスの分類を行ったものである。渋滞が発生する前の約 10 分間において 5 つのマスに分類され、前述の低速大型車は M4 の先頭車であることがわかる。

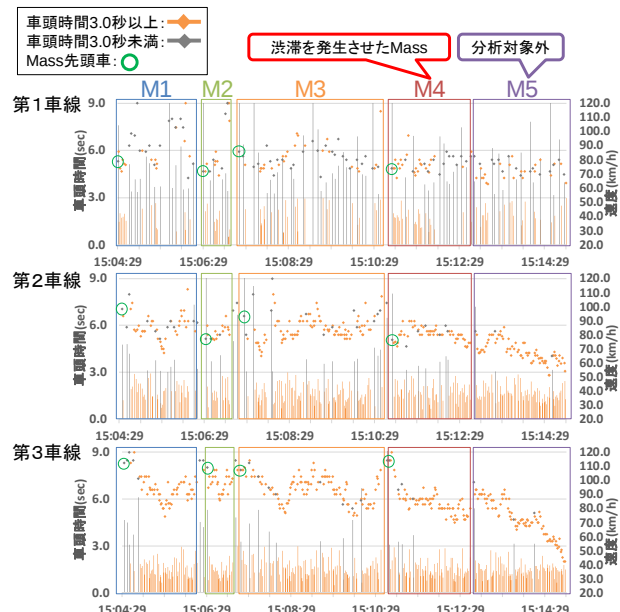


図-6 車頭時間と速度の分布

4. 3 渋滞を発生させるマス（仮説の検証）

今回の分析地点である 33.3kp は BN の上流地点であり、M4 の先頭車が通過してから分析地点で渋滞が発生するまでには時間差が生じるため、M4 が渋滞を発生させるマスであることを明確にする必要がある。そこで、M4 の先頭車である低速大型車の速度とショックウェーブの伝播速度からショックウェーブの発生位置を確認する。M4 の低速大型車がショックウェーブ発生の原因であると仮定すると、低速大型車が分析地点の 33.3kp を通過してからショックウェーブが到達するまでの時間は、低速大型車がショックウェーブの発生位置までに到達する時間とそこからショックウェーブが伝播するまでの時間の和である。低速大型車が通過してからショックウェーブが到達するまでの時間は約 4.1 分、大型車の速度は観測より 75km/h、伝播速度は図－3 の速度コンター図から 0.3km/min であったことから、衝撃波の発生位置は式（1）より算出される。

$$\frac{(33.3-X)}{75/60} + \frac{(33.3-X)}{0.3} = 4.1 \quad (1)$$

ここに、X：衝撃波の発生位置(kp)

その結果、ショックウェーブの発生位置は 32.3kp 付近であることがわかった。この地点は、図－1 を見ると、サグ底を過ぎて上り勾配に差し掛かる地点であり、M4 の低速大型車がショックウェーブ発生の原因であるとの仮説は妥当であると考えられる。

5. マスに基づく交通特性分析

5. 1 マス別の基本交通特性

表－1 は各マスの継続時間、先頭車速度、車両台数（車線利用率）、平均速度、密度、平均車頭時間、マスに含まれる車群数、大型車台数（大型車混入率）、大型車平均速度、末尾速度を示した表である。先頭車速度が低い M2 と M4 は他のマスと比較して、第3車線の密度が高くなっている。これは、先頭車速度が低いために第3車線にシフトする車が多く、密度が高くなった可能性が考えられる。ここで、第3車線の平均速度を比較すると M2 より M4 のほうが約 15km/h 低い。このことから、M2 は第3車線からのスムーズな追い越しが可能となっていたため車が分散し、継続時間も短くなったことが考えられる。これに対して M4 は第3車線の速度が低いため、低速車を追い越せない状況となり、車が滞留するような状況になったと考えられる。また、各マ

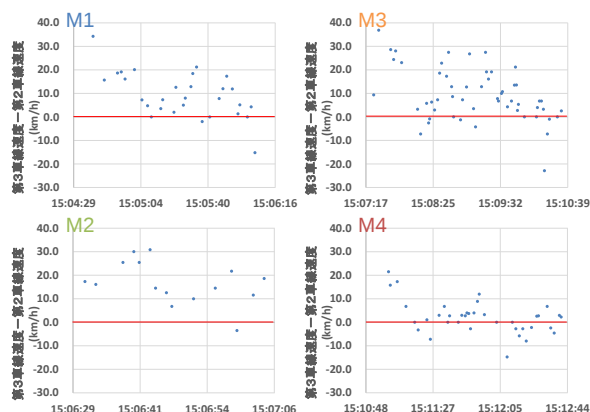
スの大型車台数に着目すると、どのマスも混入率が 0～7% 程度であり、大型車台数による影響は見られない。さらに、各マスの末尾速度に着目すると、M4 の第2、第3車線の速度が 80km/h 以下となっている。このことから、M4 の末尾車速度が低い影響で、同様に後続で形成されているであろうマスが追いつくような状況となり、さらなる速度低下を引き起こした可能性が推察される。

表－1 各マスの基本データ

	車線	M1	M2	M3	M4
継続時間	全車線	1分47秒	37秒	3分22秒	1分56秒
先頭車速度	第1	79.1km/h	72.0km/h	85.7km/h	74.2km/h
	第2	98.6km/h	77.4km/h	93.5km/h	76.6km/h
	第3	112.5km/h	107.5km/h	107.5km/h	114.3km/h
台数(利用率)	第1	35台(24%)	18台(28%)	52台(18%)	40台(23%)
	第2	47台(32%)	18台(28%)	101台(35%)	59台(34%)
	第3	63台(44%)	28台(44%)	136台(47%)	73台(43%)
平均速度	第1	91.0km/h	92.1km/h	81.6km/h	78.2km/h
	第2	86.6km/h	81.7km/h	85.7km/h	80.5km/h
	第3	94.4km/h	98.1km/h	93.8km/h	84.8km/h
密度 (流率/平均速度)	第1	12.9台/Km	19.0台/Km	11.4台/Km	15.9台/Km
	第2	18.3台/Km	21.4台/Km	21.0台/Km	22.7台/Km
	第3	22.5台/Km	27.8台/Km	21.8台/Km	26.7台/Km
平均車頭時間	第1	3.13sec	2.17sec	3.90sec	2.88sec
	第2	2.23sec	1.91sec	1.95sec	1.88sec
	第3	1.67sec	1.51sec	1.75sec	1.58sec
車群数	第1	7	3	13	8
	第2	8	3	9	6
	第3	3	1	9	4
大型車台数 (混入率)	第1	3台(9%)	0台(0%)	10台(19%)	9台(23%)
	第2	3台(6%)	1台(6%)	4台(4%)	4台(7%)
	第3	1台(2%)	0台(0%)	1台(1%)	1台(1%)
大型車 平均速度	第1	83.4km/h	—km/h	81.2km/h	77.0km/h
	第2	85.8km/h	93.5km/h	91.1km/h	77.1km/h
	第3	102.9km/h	—km/h	86.7km/h	80.0km/h
末尾速度	第1	77.4km/h	107.5km/h	114.3km/h	85.7km/h
	第2	82.8km/h	80.0km/h	107.5km/h	74.2km/h
	第3	98.6km/h	101.4km/h	107.5km/h	80.0km/h

5. 2 第2車線と第3車線の相対速度

図－7 は、第2車線と第3車線の車両が観測断面を同時に通過した際の第2車線と第3車線の相対速度（第3車線の速度－第2車線の速度）を示した図である。M1、M2、M3 は 0～30km/h にかけて広く分布しているのに対し、M4 はほとんど 10km/h を下回っているのがわかる。このことから、M4 は第3車線からのスムーズな追い越しが難しい状況であったことが推察される。



図－7 第2車線と第3車線の相対速度

5. 3 マスを構成する車両の走行挙動特性

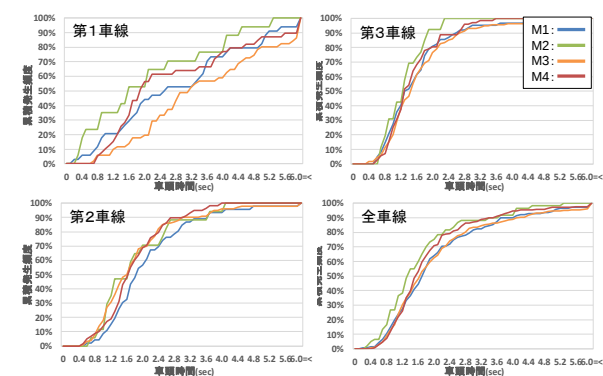
図－8は、車線別に見た各マスの車頭時間分布を比較したものである。渋滞の要因となったM4の車頭時間分布は、他のマスと比較して明確な特徴があるわけではない。従って、これだけでマスを構成する車両の走行挙動特性の違いを見出すことはできない。

そこで、マス内を構成する個々の車両の走行挙動特性を把握するため、大口ら³⁾の研究を参考に個別車両の仮想的な見かけ上の換算交通流率、換算密度を以下の式(2)(3)のように定義した。

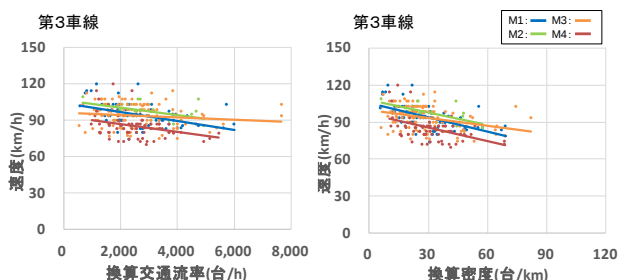
$$q_i = \frac{3600}{h_i} \quad (2) \quad k_i = \frac{q_i}{v_i} \quad (3)$$

ここに、 q_i :換算交通流率(台/h)、 h_i :前方車と車頭時間(sec)、 k_i :換算密度(台/km)、 v_i :速度(km/h)であり、 i は個別車両を示す。

図－9は低速車を追い抜こうとする車で集中する第3車線の車両の走行挙動特性を把握するため、4つのマスを第3車線における見かけ上のQ-V図、K-V図で比較したものである。同程度の換算交通流率および換算密度においてM1、M2、M3と比較してM4の速度が低く、さらに換算交通流率または換算密度が大きいほど速度が低下する傾向が強いことがわかる。このことから、M4は渋滞を発生させないマスと比較して、低速車による閉塞で速く行こうとする車が強い車線変更を行い、後続車が思わぬ減速を余儀なくされるような非効率な交通状況が生じている可能性がある。



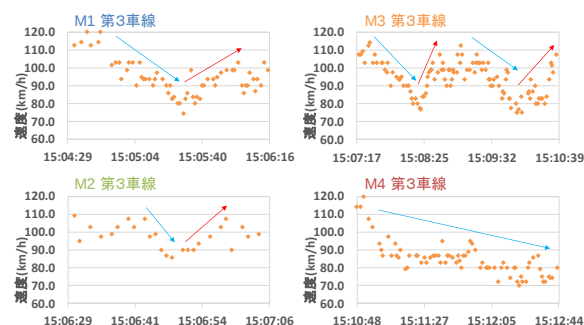
図－8 車頭時間分布累積曲線



図－9 見かけ上のQ-V図、K-V図(第3車線)

5. 4 マス内の速度変化

図－10は、第3車線において各マスの速度変動を比較した図である。M1、M2、M3は速度低下と回復を繰り返す傾向にあるが、M4は速度回復ができず、低下が続く傾向にある。これは、本来であれば車両の間隔にばらつきがあるため、間隔が狭いところでは速度が低下し、間隔が広いところでは速度が回復することになるが、M4では前述のように後続車が減速を余儀なくされるような非効率な交通状況が続き、速度が回復できない状態になっていると推察される。



図－10 マス内の速度と車頭時間(第3車線)

6. おわりに

本研究では、個々の車両挙動が渋滞の発生をもたらす状況を客観的に表現する方法として、「マス」という概念を導入し、渋滞を発生させたマスとさせないマスについて比較した。これによれば、マスという概念の導入は渋滞の発生に至る現象を表現できる可能性があることが確認された。

今後は、今回の分析地点よりさらに上流側において、どのようにマスが形成され、どのような特徴の違いがあるかについて明らかにする予定である。

参考文献

- 1) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.65-71, 1993.
- 2) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(下), 高速道路と自動車, Vol.44, No.3, pp.30-40, 2001.
- 3) 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則: 高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究, 高速道路と自動車, Vol.44, No.12, pp.27-34, 2001.
- 4) 邢健, 鶴元史, 石田貴志, 村松栄嗣: 渋滞を引き起こす交通流の車群特性分析, 土木計画学研究・講演集, CD-ROM, VOL.42, No.82, 2010.11.