

都市間高速道路単路部における渋滞定着要因に関する一考察*

A Study on Factors Why the Generating Point of Traffic Congestion Converges to a Certain Fixed Point at Normal Section on Highway*

野中康弘**、石田貴志***、内山久雄****

By Yasuhiro NONAKA, Takashi ISHIDA and Hisao UCHIYAMA

1. はじめに

都市間高速道路(以下「高速道路」という)の単路部における交通集中渋滞(以下「渋滞」という)は、サグやトンネル部で発生することが多く、その発生メカニズムについて、現在までの知見は「交通需要が増加すると、追越車線に交通量が偏るとともに大きな車群がみられるようになる。その大きな車群がサグの先の上り勾配やトンネルの入口にさしかかると、追越車線の車群の中に減速波が発生、上流へと増幅伝播し、結果的に徐行あるいは停止に至る。」というものである。このときの渋滞先頭地点をボトルネックと称しているが、これまでの研究では、速度低下の生じる地点(区間)がすなわち渋滞発生地点(区間) = ボトルネックであると解釈され、ボトルネックの特性は、非渋滞時の速度低下や渋滞発生時交通量など、渋滞発生直前の交通現象に重点を置いて論じられることが多かった^{1)~5)}。

しかし、たとえば図1に見られるように、著名なボトルネック下流で事故渋滞が発生したようなケースでは、車線規制解除後に、事故規制地点を先頭とした減速波は上流へと伝播していくが、ボトルネックから上流へは伝播せず、結果的にボトルネックが渋滞の先頭となる。このようなケースは渋滞発生直前の交通現象からは説明できない。

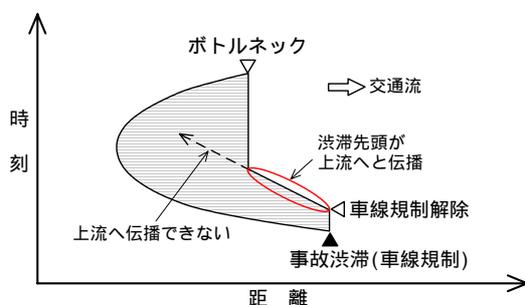


図1 事故による車線規制時の渋滞図

Key words: 交通行動分析, 交通流, 交通容量

** 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科
(〒278 8510 千葉県野田市山崎 2641)

TEL:04-7124-1501 EXT.4058 FAX:04-7123-9766)

*** 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科

**** JIE-会員 東京理科大学理工学部土木工学科

本研究はボトルネックが渋滞の先頭地点として落ち着くことを「定着」と提案、定義し、このような現象に着目することによって、ボトルネックの特性について、これまでの渋滞発生直前の現象ではなく、渋滞発生後の現象からアプローチしたものである。

2. ボトルネックの考え方

上述のように、これまでの知見のポイントは速度低下の生じる地点(区間)がすなわち渋滞発生地点(区間) = ボトルネックであるという点にある。これに対して、本研究では、次のような観点からボトルネックの特性を分析することとした。

都市間高速道路の単路部ボトルネックは、任意の地点で生じた減速波が上流へ伝播せずに定着してしまう地点であり、前後の区間に比べて渋滞中の発進流率が低い地点である。

高速道路の単路部渋滞のうち、サグにおける渋滞発生メカニズムの解明にあたっては、渋滞先頭地点(ボトルネック)を発生地点と定着地点に区別して捉える必要があると考える。

前者は速度低下の発生する地点であり、サグの先の上り勾配で発生することが多いことはこれまでの研究からも明らかである^{1),6)}。しかし、個々のドライバーの運転技術や走行特性によって、あるいは故障車や落下物の有無によって、地点分散が大きくなるものとの報告もある。後者は、いわゆるボトルネックと呼ばれている地点であり、減速波が上流へと伝播しきれずに渋滞先頭が定着する地点である。

本研究では、後者の現象に着目して、「なぜ、渋滞がサグで発生するか」ではなく、「なぜ、渋滞はいつも同じサグに定着するか」という観点から、ボトルネックはその前後の区間に対して渋滞中の発進流率が低い地点と捉え、これを追従挙動のスパイラル曲線によって定式化することを試みる。

3. 分析方法

渋滞定着要因の分析にあたっては、東名高速道路(上)の綾瀬バス停付近(平成13年11月23日と12月16日)と東北自動車道(上)の利根川橋手前(平成14年1月3日)の両ボトルネック付近において、渋滞流から自由流に至るまでの区間(以下「遷移流」という)のフローティング調査を行う。

また、単路部のボトルネックと比較するために、一般道信号部で赤信号のために停止している車両を、渋滞の先頭付近に見立て、その車両が加速追従するデータを同様の調査方法により取得する(平成13年10月21日)。ここで、一般道信号部を比較対象とした理由は、渋滞の先頭が曖昧な単路部のボトルネック部に比べて渋滞の先頭が明確であり、スムーズに加速しているのではないかと考えるからである。

個々の車両の追従挙動に関しては、既存研究において、追従状態にある2台の車両の車間距離を横軸に、相対速度(前車の速度から後車の速度を引いた速度)を縦軸にとり、その関係を時系列で表現すると、スパイラル曲線(時計回りの螺旋の曲線)となり、相対速度0(希望車間距離)に収束することが示されている⁸⁾。

そこで、本研究では遷移流における追従挙動をスパイラル形状の違いから説明することを試みる。また、渋滞定着要因が個人属性や車両性能よりも道路幾何構造に強く影響を受けているものと考え、今後も様々な地点データの取得を念頭に置いて、制約がなく機動力が必要なこと、コストが少なく抑えられることから、各車両の1パルスごとの時刻、速度、距離を容易に得ることができるスピードレコーダーを用いて2台のプロブカーを追従させるフローティング調査を選択する。

4. 調査結果

4.1 遷移流の定義

本研究では、渋滞流から自由流になる間の交通状態を遷移流と定義する。

詳細な定義は、速度・車間距離図(図3~4)より、高速道路においては30km/hから70km/hに至るまでの区間、一般道信号部では、0km/hから50km/hに至るまでの区間とする。

図2に東名高速道路の縦断線形、図3~4に綾瀬バス停付近の速度・車間距離図を示す。

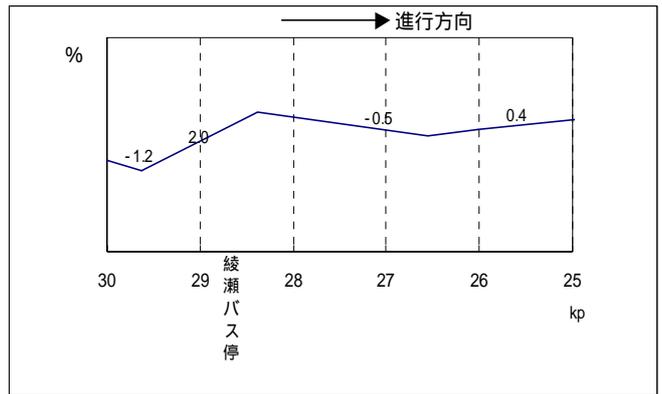


図2 東名高速道路の縦断線形

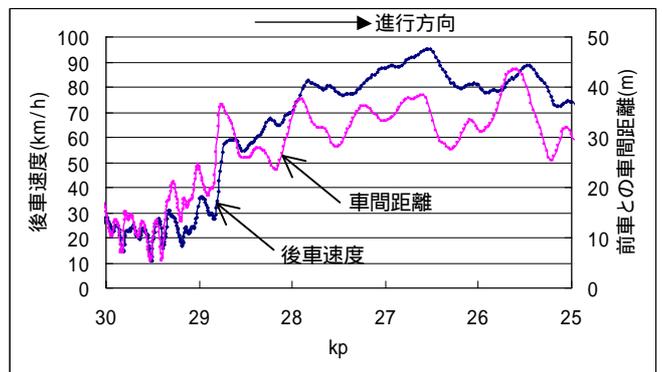


図3 綾瀬バス停付近の速度・車間距離図
(平成13年11月23日)

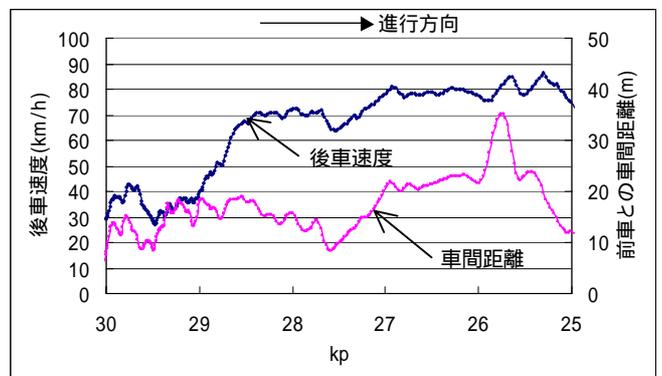


図4 綾瀬バス停付近の速度・車間距離図
(平成13年12月16日)

4.2 遷移流における追従挙動分析

高速道路単路部の遷移流におけるスパイラル曲線は、比較的小さなスパイラル曲線が連続して形成される(図5~7:それぞれのグラフの終点と始点は連続している)。また、一般道信号部における発進時のスパイラル曲線は、一つまたは数個のスパイラル曲線で希望車間距離に収束する(図8)。

なお、図5~8はカルマンフィルターを通してスムージングされている。

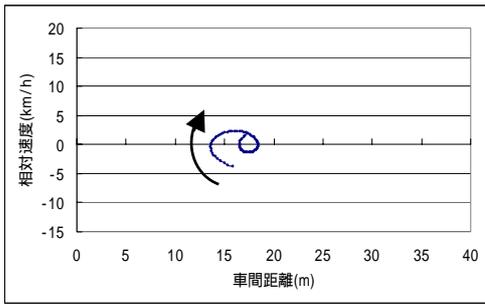


図5 綾瀬バス停付近のスパイラル曲線1
(平成13年12月16日)

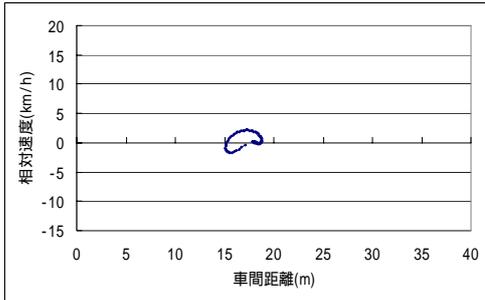


図6 綾瀬バス停付近のスパイラル曲線2
(平成13年12月16日)

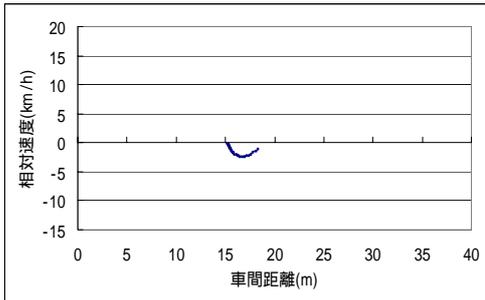


図7 綾瀬バス停付近のスパイラル曲線3
(平成13年12月16日)

図5～7は連続して出現するスパイラル曲線である。
スパイラル曲線の進行方向は時計周りである。

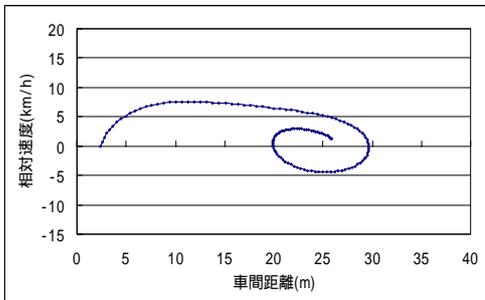


図8 常総ふれあい道路の信号部のスパイラル曲線
(平成13年10月21日)

ここで、高速道路単路部の遷移流と一般道信号部にて、ともに加速している状態における発進流率と加速度を表1に示す。

表1の発進流率と加速度は、ともに高速道路単路部よりも一般道信号部の方が大きくなっていることが示されている。このことから加速追従については、高速道路単路部の遷移流より一般道信号部の方がスムーズであることが確認できる。

表1 発進流率と加速度

調査地点	発進流率(台/秒)		加速度(m/s ²)	
	測定値	平均値	測定値	平均値
綾瀬バス停 11月23日	0.347	0.356	0.319	0.261
			0.319	
綾瀬バス停 12月16日	0.337	0.356	0.136	0.261
			0.142	
利根川橋 1月3日	0.373	0.356	0.330	0.261
			0.343	
			0.248	
利根川橋 1月3日	0.367	0.356	0.253	0.261
			0.253	
千葉県道 47号	0.473	0.473	0.709	0.616
			0.638	
常総ふれ あい道路	0.473	0.473	0.428	0.616
			0.491	
			0.421	
国道6号	0.473	0.473	0.533	0.616
			0.758	
			0.948	

一般道信号部の発進流率は別途代表値を計測した

次に、渋滞流から自由流に至るまでのスパイラル曲線の長さの和が短く、スパイラル曲線が形成される時間が短いほど加速追従がスムーズであるという仮説を立て、以下の(式1)を提案し、TI値を求めた結果を表2に示す。

$$TI = \frac{\text{スパイラル曲線の長さ}(m\sqrt{1+1/s^2}) \times \text{走行時間}(s)}{\text{走行速度}(m/s)} \quad (1)$$

表2 TI値

調査地点	走行距離(m)	走行時間(s)	スパイラル距離(m $\sqrt{1+1/s^2}$)	TI値
綾瀬バス停 11月23日	829.8	51	46.59	146
綾瀬バス停 12月16日	1048	86	49.72	351
利根川橋 1月3日	548.8	40	27.72	81
	682.8	52	29.95	119
千葉県道 47号	107.9	13	27.78	44
常総ふれ あい道路	125.6	16	28.50	58
国道6号	192.4	19	15.38	29
	76.76	9	14.32	15

表2のTI値をみると、一般道信号部が最も小さく、高速道路単路部の渋滞先頭地点である利根川橋、綾瀬バス停では相対的に大きくなっている。

以上の結果から、TI値と発進流率(q 台/秒)の関係は、以下の(式2)に示すとおり、TI値が大きくなるほど発進流率は指数的に減少する傾向があることが指摘できる(図9)。

$$q = 0.7538TI^{-0.1471} \quad (R^2=0.8299) \quad (2)$$

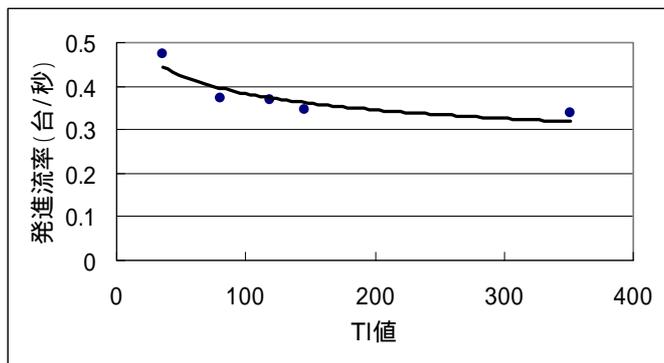


図9 TI値と発進流率の関係

4.3 考察

高速道路単路部における遷移流と一般道信号部における発進時のスパイラル曲線は、その形状に大きな違いがあり、高速道路単路部では小さなスパイラル曲線が連続して形成されながら、自由流に至るのに対して、一般道信号部では一つまたは数個のスパイラル曲線で希望車間距離に収束することが確認された。

また、渋滞流から自由流に至るまでのスパイラル曲線の長さが短く、スパイラル曲線が形成される時間が短いほどスムーズに追従できているという仮説を立てて求めたTI値と発進流率の関係を見たところ、負の相関があることが確認された。

これらのことから、渋滞が定着する地点の特性として、本研究で提案したTI値により推測できる可能性があることを示した。

また、このTI値をパラメータとして道路幾何構造あるいは地点特性をスパイラル曲線によって表現することが可能であれば、高速道路単路部渋滞発生におけるシミュレーションモデルのパラメータになり得る可能性があるものと考え、それについては、今後の課題である。

5. おわりに

本研究では、高速道路単路部のボトルネックにおいて、なぜいつも同じ地点で渋滞が定着するか、という問題に対して、渋滞流から自由流の間の遷移流における個々の車両の追従挙動をフローティング調査によって観測した。

このとき、小さなスパイラル曲線が連続して形成されること、さらに本研究で定義したTI値という指標は発進流率と負の相関を示すことが確認された。

フローティング調査は、場所や測定距離の制約がないという特徴があり、様々な地点でのデータ取得に適している一方で、少サンプルで偏った属性であるという欠点も有している。

今後は、サグ部の勾配や交通特性の異なる多くのボトルネック地点で追従挙動を観察するために、1)制約が少なく、機動力のあるフローティング調査においてデータを蓄積し、スパイラル曲線やTI値の特徴を明確にすること、2)フローティング調査とGPSや定点調査を併用すること、3)高速道路単路部と一般道のトリップ特性を考慮に入れること、によって高速道路単路部のボトルネックにおける渋滞定着要因を解明し、交通容量の増大、ひいては渋滞の解消や軽減、潜在的なボトルネックの発見に寄与できればと考える。

【参考文献】

- 1) 越正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，第371号/ 5，pp.1-7，1986.7
- 2) 大口敬，赤羽弘和，桑原雅夫，越正毅：トンネル部と単路部における車両の追従挙動の比較，土木計画学研究・講演集，No.12，pp.75-80，1989.12
- 3) 大口敬：交通渋滞の発生メカニズムとAHS技術による対策，第37回土木計画学シンポジウム論文集，pp.155-162，2001.5
- 4) 大口敬：高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係，土木学会論文集，第524号/ 29，pp.69-78，1995.10
- 5) 越正毅，大口敬：高速道路サグにおける渋滞とその対策，道路，No.651，pp.65-69，1995.5
- 6) 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，第458号/ 18，pp.65-71，1993.7
- 7) 岡村秀樹，渡辺修治，泉正之：都市間高速道路における単路部渋滞先頭地点の交通現象，交通工学，Vol.35，No.6，pp.48-56，2000.11
- 8) 鈴木善也，内山久雄：スパイラル曲線による追従挙動の表現に関する研究，第18回交通工学研究発表会論文集，pp.219-222，1998.11