

ドライビングシミュレータを用いた室内実験による渋滞現象の再現性検討

大阪大学大学院 学生員 ○藤原一雅
大阪大学大学院 正会員 飯田克弘
日本道路公団 正会員 河井 健

1. はじめに

高速道路サグ部での渋滞発生過程に関して、越は「運転者が勾配の変化に対応したアクセル操作を行わないために、無意識のうちに車両の速度が低下する。この速度低下が減速波として上流側に増幅伝播することで、大きな車群では後方の車両が低速走行や停止の状態に至る。」と説明し¹⁾、また大口は、この仮説を受けて渋滞現象を説明するにあたり「さらに後続車群がそこへ到着すると継続的な渋滞となる。」と述べている²⁾。これら既往の研究で得られた知見に基づき渋滞発生原因解明に向けて様々な研究がされてきたが、サグでの渋滞発生メカニズムは未だ解明されていない。その理由は、条件を整えた上で渋滞発生の一連の過程を捉えたデータ収集を行うことが極めて難しいことが理由として考えられる。そこで、本研究では大口らが示したドライビングシミュレータによる追従走行特性の再現性³⁾を足がかりに、室内実験によって渋滞発生過程を捉えることを試みた。具体的には上記仮説¹⁾²⁾で示されている、サグで発生する「ある車両の速度低下」に対し、筆者らが別途行った研究⁴⁾で指摘した、自由走行状態において発生する5つの速度低下パターンを仮定し、それら5パターンの走行挙動を示す車両を先頭車両とし、その後ろを46名の被験者が追従走行するという室内実験を実施した。そして、実験結果として得られた交通流に見られる現象を既往の知見¹⁾²⁾と照らし合わせることで渋滞現象の再現性検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、中央自動車道上り線中野サグ(底部: 61.88kp)を含む65.0kp ~ 60.8kpの区間を対象に46名の被験者を用いて追従走行実験を行った。本研究で用いたドライビングシミュレータのシステムでは、3次元データで構築された道路空間をCG映像として投影することにより、運転者に仮想空間での模擬走行を可能としている。また、事前に計測された走行記録を用いて車両を描画することも可能である。本研究ではこの機能を用いて先頭車両と追従実験における自車の前方車両を再現することにより、追従実験を可能としている。

3. 実験結果

本実験で得られた実験結果を既往の仮説²⁾に示される「渋滞とされる現象に至るまでの交通流の概要」と段階的に比較する。次に、実験結果として得られた交通流を、実観測により渋滞発生直前の減速波の発生・伝播現象を捉えた結果⁵⁾と照らし合わせることにする。

表1 渋滞とされる現象に至るまでの交通流の概要²⁾

- | |
|--|
| 1) ある車両の速度低下 |
| サグにおいて運転者は、増加した勾配による抵抗の増加分を補うほど十分なアクセル操作をせず、無意識のうちに速度低下を起こす。 |
| 2) 車群の形成と減速の増幅 |
| 2-1 車群の形成 |
| 交通量が増大すると、各車両は車間距離の詰まった集団(車群)を形成するようになる。 |
| 2-2 減速の増幅 |
| 車群中の運転者は、速度低下にもかかわらず減速前の車間距離を維持しようとする傾向があるため、後方車は前方車より大きな減速をしてしまう。 |
| 3) 減速波の上流増幅伝播から渋滞発生に至るまで |
| 3-1 減速波の上流増幅伝播 |
| こうした後方車ほど大きく減速する現象が将棋倒し的に車群中を伝播する(減速波の上流増幅伝播)。 |
| 3-2 車群後方車両の低速走行または停止 |
| そのため、車群後方の車両は低速走行または停止を強いられることとなる。 |
| 3-3 継続的な渋滞の発生 |
| さらに後続車群がそこへ到着すると継続的な渋滞となる。 |

(1) 実験結果と既往の仮説との段階的比較

表1は大口が示した渋滞現象の仮説のうち渋滞の発生までの部分を抜粋している²⁾。この表で示される各段階と、本実験結果の対応について考察する。本稿では5パターンの実験結果のうち、既往の仮説¹⁾²⁾で指摘されている車両の「停止」が発生したパターンについての考察結果を報告する(図1参照)。

図1では、各車両の走行軌跡を表すTime-Space図に、各被験者の速度から計算された等速度線(速度コンター)を示している。なおこの図の縦軸は走行位置(kp)、横軸は実験開始からの経過時間(s)を表している。

図1を見ると、先頭車両が61.5kp付近で90km/h以下に速度低下すると、被験者3の車両が61.35kp付近の上り坂で70km/hあたりまで減速し、その後被験者8の車両は61.3kp付近で40km/hにまで減速する。さらにこの被験者8あたりから減速波が上流側へ増幅伝播し始めている様

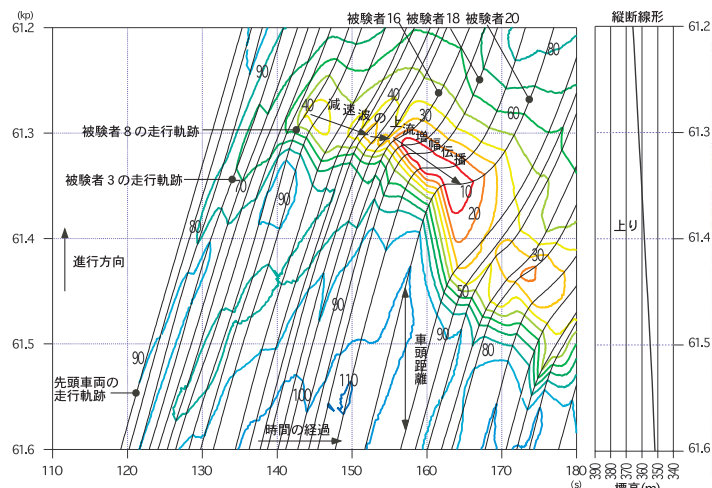


図1 速度コンター図(61.6kp-61.2kp)

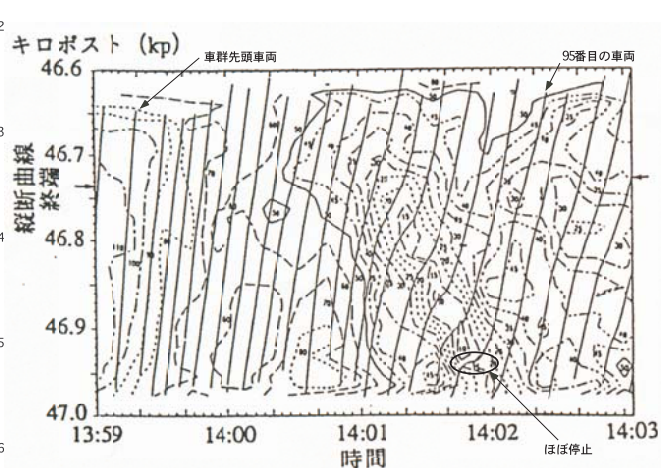
子が見て取れる。ここで言う減速波の上流増幅伝播とは、図1のような速度コンター図において、時間の経過とともに順次低速領域が現れ、かつその領域に現れる速度コンターが右下の傾きを持つことにより示される。また、図1には補助線として矢印を示しているが、この矢印と横軸に平行な直線との傾きが大きければ大きいほど減速波が上流側へ、より速い速度で伝播していると解釈することができる。このように減速波の増幅伝播を捉えた上でその過程を詳細に見ると、被験者8あたりから減速波の上流増幅伝播が始まり、特に被験者16～20にかけては、被験者8～15と比較して、減速波がより上流側へ強い増幅を伴って伝播している。その結果、被験者18～20は急減速の後、停止を強いられている。その後、21番目以降の被験者は20番目以前より車頭距離を広く取る傾向が見られる。そのため、20番目の被験者が一旦停止を強いられた後、車間距離の詰まった集団(車群)が到着せず、仮説3-3で示されるところの継続的な渋滞という現象には至らなかったと考えられる。

以上より、本実験結果から表1に示す仮説の1～3-2までを確認できたと言える。つまり、実験結果として得られた交通流は「渋滞とされる現象の始まり」を捉えたものだと言える。

(2) 実観測により渋滞発生直前を捉えた結果⁵⁾と本実験結果との比較

越らは1991年に東名高速道路上り線46.7kpの秦野サグ付近において空中観測を行い、渋滞発生直前の減速波の発生・伝播現象を捉えることに成功している⁵⁾。その結果が図2の速度コンター図である。ちなみに図2には5台毎の車両(図1ではすべての車両)の走行軌跡がプロットされている。

図2より、車群先頭車両から数えて95番目の車両がほぼ停止を強いられる状況になったことを読み取ることができる。文献ではその後、「上流からの需要が大きい

図2 渋滞発生直前における速度コンター図(秦野サグ追越車線)⁵⁾

め、速度が回復せず渋滞になった」と報告されている⁵⁾。この結果に準じ、ほぼ停止という状態を時速0-10km/hとするなら、本実験結果では図1より17～20番目の車両がほぼ停止を強いられる状況になっている。このことから、本実験においても21台目以降の車両が車頭距離の詰まった集団を形成し、20台目の車両停止直後に到着していれば、継続的な渋滞が発生したと推論することができる。

以上、(1)、(2)において、サグにおける渋滞発生メカニズムを説明した仮説および渋滞発生直前を捉えた結果と本実験結果を比較したところ、本実験の範囲でもドライビングシミュレータを用いた室内実験によって渋滞の始まり部分は捉えることができたと言える。

4. まとめ

これまで、渋滞が発生するまでの一連の過程を捉えたデータを収集することは非常に難しく、これが、渋滞発生メカニズムの解明の障害になっていたと思われる。これに対し、本研究の結果はドライビングシミュレータを用いた室内実験により、渋滞の始まり部分というダイナミックな挙動を含む交通流の再現性を示すことができた。しかし、継続的な渋滞に至る過程までを捉えることができたわけではない。そのため、さらなるデータの積み重ねを行っていく必要がある。

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, 4-5, pp1-7, 1986
- 2) 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, No524, 4-29, pp69-78, 1995
- 3) 大口 敬・金子 哲也・飯田 克弘・渡邊 亨: ドライビング・シミュレータを用いた道路線形と追従挙動特性に関する研究, 土木計画学・講演集, No.24(2), pp649-652, 2001
- 4) 飯田 克弘・河井 健・大口 敬・山岸 将人・森 俊之: サグ部における車群先頭車両の速度推移特性が後続車両に与える影響の分析, 土木計画学・講演集, No.24(2), pp661-664, 2001
- 5) J.Xing・越 正毅: 高速道路のサグにおける渋滞現象と車両追従挙動の研究, 土木学会論文集 No.506, 4-26, pp45-55, 1955