

## 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

### Analysis of the Effects on Following Cars caused by the Characteristic of Speed Transition of the Leader of a Platoon at a Sag Section

飯田 克弘<sup>\*</sup>・河井 健<sup>\*\*</sup>・大口 敬<sup>\*\*\*</sup>・山岸 将人<sup>\*\*\*\*</sup>・森 俊之<sup>\*\*\*\*\*</sup>

by Katsuhiko IIDA, Ken KAWAI, Takashi OGUCHI, Masato YAMAGISHI, Toshiyuki MORI

#### 1. はじめに

高速道路のサグ部で発生する渋滞に関して、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。」と説明している<sup>1)</sup>。そして、渋滞の対策としては、設計基準を満たす範囲で縦断曲線半径をなるべく小さくすることやサグ付近の見通しを良くすることにより運転者に勾配変化の認知を促すことが提案<sup>2,3)</sup>されている。

そこで筆者らは、実際に渋滞が多発する中央自動車道中野サグ（上り、底部：61.9kp）を対象に、サグ付近で隣接する切土法面と斜面および遮音壁を取り除き見通しを改良した代替案や、縦断曲線半径を設計基準値である2,000m、現状の半径（約12,000m）に対して半分の大きさである6,000mとした代替案を考案し、ドライビングシミュレータを用いた室内実験を行った<sup>4)</sup>。この実験では、周辺車両が存在しない自由走行状態において発生した運転者の運転挙動データ（速度、アクセル・ブレーキ使用量）を収集し、現状と代替案の運転挙動データを相対的に比較して評価した。

ここで、上述した既往研究<sup>1)</sup>で指摘されている車両の速度低下に着目し実験結果<sup>4)</sup>を分類したところ、速度低下が無いものおよび下り勾配から発生する速度低下と縦断曲線区間から発生する速度低下、速度回復の有無の組み合わせにより、5つの走行挙動パターンを確認することができた（2章参照）。す

なわち、サグで発生する速度低下については、低下開始場所およびその後の回復行動も含めて5種類のパターンがあり、それぞれのパターンによって後続車両への影響は異なる可能性がある。

そこで、本研究では、車群の先頭車両に自由走行から抽出された5種類の走行挙動パターンをあてはめ追従実験を行うことで、後続車両への影響の把握を試みる。ここで、実際の高速道路上では、周辺車両の状況や天候などにより先頭車両の影響だけを取り出すことは困難である。また、当然のことながらデータ収集にも制限がある。この問題に対し、筆者らはサグ部を対象にドライビングシミュレータを用いて追従実験を行う方法を考案し、その結果を用いて追従挙動特性の解析を行っている<sup>5)</sup>。本研究でも、この実験方法を適用し、ドライビングシミュレータを用いた追従実験を行う。

#### 2. 走行挙動パターン

先に行った実験結果<sup>4)</sup>で中野サグを含む中央自動車道63.2kp～60.7kp区間における速度の推移を見ると、速度低下の有無、速度低下の開始場所、速度回復の有無によりサンプル数35人の被験者が概ね表-1に示す走行挙動パターンに分類された。さらに、追加実験を行ったところ、19人の被験者も概ね表-1に示す5種類の走行挙動パターンに該当することが分かった。なお、以降ではそれぞれの走行挙動パターンを表-1に示す通りpt1～pt5と略記する。

表-1 現状サグの走行挙動パターン

|                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| pt1: 分析対象区間を通じて速度が変化しないグループ (3 <sup>a</sup> , 2 <sup>b</sup> )                             |
| pt2: 下り勾配区間 (62.7kp付近) から速度が低下するが、分析区間終端では回復傾向が見られるグループ (5 <sup>a</sup> , 1 <sup>b</sup> ) |
| pt3: 下り勾配区間 (62.7kp付近) から速度が低下し、分析区間終端でも回復傾向が見られないグループ (7 <sup>a</sup> , 6 <sup>b</sup> )  |
| pt4: 縦断曲線区間 (62.3kp付近) から速度が低下するが、分析区間終端では回復傾向が見られるグループ (4 <sup>a</sup> , 3 <sup>b</sup> ) |
| pt5: 縦断曲線区間 (62.3kp付近) から速度が低下し、分析区間終端でも回復傾向が見られるグループ (8 <sup>a</sup> , 1 <sup>b</sup> )   |

注) ① 内はサンプル数を示す。  
aは室内実験結果<sup>4)</sup>、bは追加実験結果

キーワード：交通流、交通容量

\* 正会員 博士(工) 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒565-0871 吹田市山田丘2-1, TEL/FAX: 06-6879-7611/7612)

\*\* 学生会員 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

\*\*\* 正会員 博士(工) 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻

\*\*\*\* 正会員 日本道路公団試験研究所交通環境研究部

\*\*\*\*\* 非会員 日本道路公団試験研究所交通環境研究部

### 3. 実験システム<sup>5)6)</sup>

本研究で用いたドライビングシミュレータのシステム構成を図-1に示す。本システムでは、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。運転者の操作は、ハンドル・アクセル・ブレーキ使用量として数値化され、これらのデータがフレーム（最小1/66秒）ごとにワークステーションに送信され、車両の加速度や速度、走行位置などの車両運動が計算される。さらに、実験車以外の周辺車両については、初期配置（位置、台数）、走行パターン（速度、車間距離、追い越しルールなど）、車種の設定が可能となっている。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り、本研究ではこの機能を用いて車群の先頭車両と追従実験における自車の前方車両を再現した。

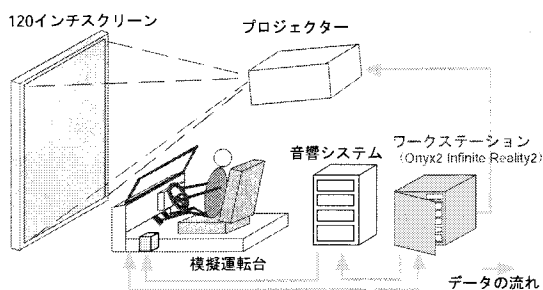


図-1 実験システムの構成

### 4. 実験の概要

#### (1) 5種類の走行挙動パターンの再現

再現した走行挙動パターンの速度推移を図-2～図-4に示す。これらは、それぞれのパターンに該当するサンプルの中から、1サンプルをそのパターンの代表として選定した。ここで、選定したサンプルは、速度推移の形状と同時に速度の絶対値も異なるが、本研究では形状に着目するため、実験対象区間においていずれの走行挙動も平均速度が100km/hとなるようにした。具体的には、選定された走行挙動の速度の平均値を算出し、100km/hとの差分だけ元の速度推移を平行移動した。

#### (2) 実験条件

実験は追い越し車線を対象として行った。まず、

それぞれの走行挙動パターンを先頭車両として、被験者1にはその後ろを追従して走行するよう指示した。さらに、被験者2には被験者1の走行軌跡を前方車両として再現し、その後ろを追従するよう指示した。これを17人の被験者について繰り返し、各被験者ごとに前方に配置される車両が1台ずつ増加されるようにした。ここで、被験者が操作する車両は前方車両を走行開始地点から1秒後の位置に配置し、また初期速度は前方車両の走行開始後1秒後の速度と同じ速度とした。すなわち、走行開始直後の自転車と前方車両との相対速度はゼロである。

また、周辺走行車両については、適当に混雑した高速道路区間を再現するため、走行車線に20台程度の車両を車頭時間約1秒程度の間隔で追従車両より前方に配置した。

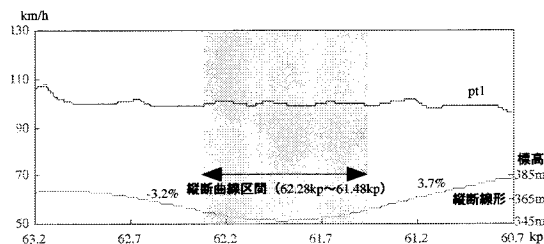


図-2 再現した走行挙動パターンの速度推移 (1)

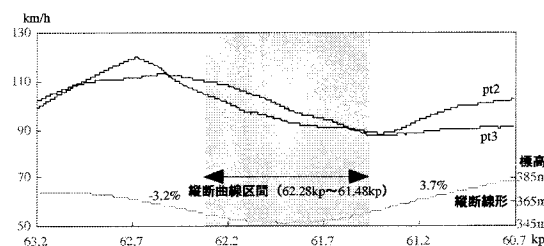


図-3 再現した走行挙動パターンの速度推移 (2)

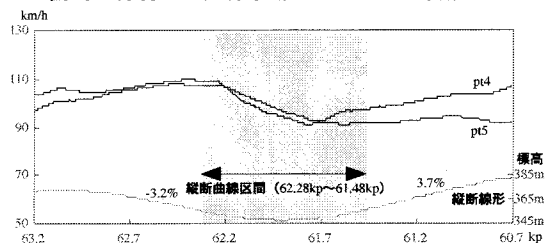


図-4 再現した走行挙動パターンの速度推移 (3)

#### (3) 実験走行区間および被験者

実験での走行区間は、中央自動車道中野サグ（上り）を含む65.0kp～60.7kpとし、実験区間の最初の約2kmを実験開始時の被験者の運転操作の乱れを調節する区間とした（図-5）。データの分析は、その

後の 63.2kp ～ 60.7kp のデータを対象とした。

実験を構成する被験者は、免許取得歴 1 年以上経過した男子学生 17 名とした。

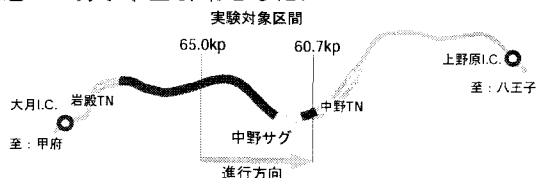


図-5 実験対象区間の平面図

## 5. 実験結果

### (1) 実験結果から見る分析対象区間の交通流特性

図 6、図 7 に走行挙動パターンごとの交通流率の変化を示す。交通流率は分析対象区間の 50m ごとに平均車頭時間を算出し、その逆数として算出している。図よりいずれのパターンにおいても大勢として縦断曲線進入後に交通流率が増加し、その後上り部において交通流率が低下している。このような傾向は、先頭車両の走行挙動に関わらず、サグの道路線形が持つ根本的な交通流特性として確認できる。

しかし、上述した傾向と同時に走行挙動パターンの影響と思われる現象も確認できる。pt1, pt2, pt4 では、pt3, pt5 より比較的小さな交通流率を示していることが分かる。また、pt2 では縦断曲線付近における交通流率の変動が比較的小さいが、pt3 では

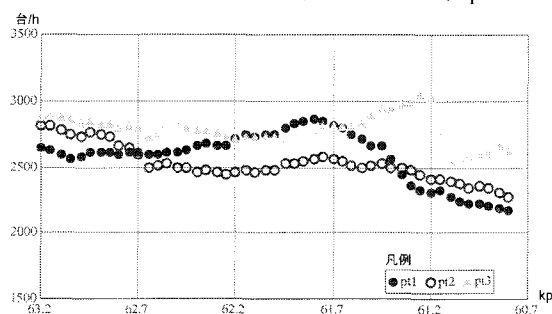


図-6 分析対象区間における交通流率の変化 (1)

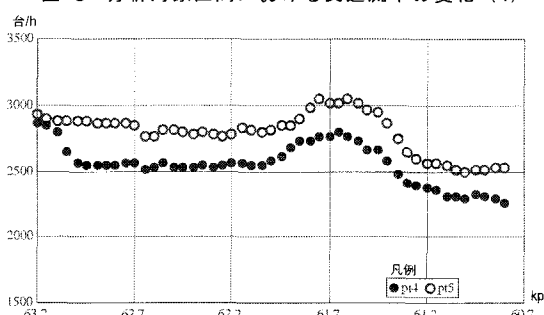


図-7 分析対象区間における交通流率の変化 (2)

61.2kp 付近で急激な変動が見られる。すなわち、pt3 では交通流率の値そのものは比較的高いものの、交通の流れの面では大きな乱れが生じており、サグ渋滞に関してそのきっかけを与えるような挙動であると考えられる。

### (2) 走行軌跡から見た先頭車両の影響分析

図 8 ～図 12 に走行挙動パターンごとのタイムスペース図を示す。pt1 や pt2, pt4 においては、比較的車頭距離に余裕があるが、pt3, pt5 においては、車群全体が密な状態で構成されている傾向が分かる。この違いは、サグでの速度低下後の速度回復の有無によるものと考えられる。さらに、pt2 では交通流にほとんど乱れが見られないが、pt3 では最後尾付近の車両が急減速に至っていることも確認できる。図 13 に pt3 で最後尾の車両が最も減速した地点における追従車両の速度分布と同地点における他のパターンの追従車両の速度分布を示す。この図を見ても、pt3 の最後尾の車両が特に大きな減速を行っていることが分かる。

以上の分析より、先頭車両の走行挙動として速度回復の有無が、車群の構成に大きく関係していることが分かった。さらに、車群が密な状態で構成されている場合の方が、前方車両の挙動が後続車両に与える影響としては大きくなる傾向があることが分かった。しかし、pt5 では pt3 のように最後尾付近の車両が急減速に至ることはなかった。先頭車両の走行挙動パターンとして速度回復が無く、車群が密な状態で構成されている点では、pt5 と pt3 では大きな違いがない。すなわち、pt3 と pt5 の結果を比較すると、速度回復の有無だけが交通流現象を規定するわけではなく、今回の実験結果が運転者の走行特性に起因して偶発した可能性も含むことを示していると考えられる。

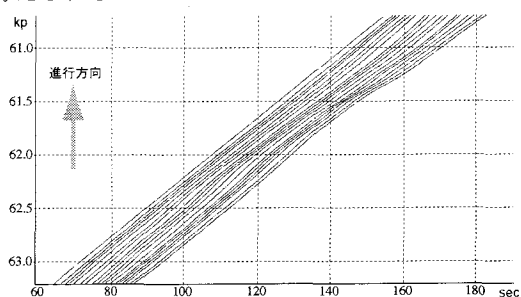


図-8 pt1 のタイムスペース図

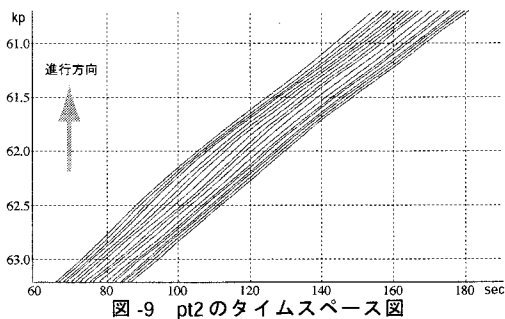


図-9 pt2のタイムスペース図

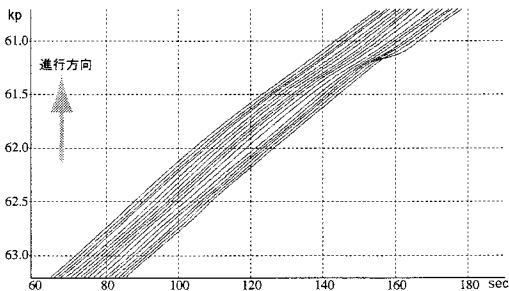


図-10 pt3のタイムスペース図

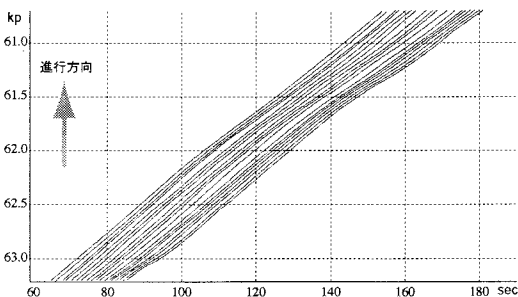


図-11 pt4のタイムスペース図

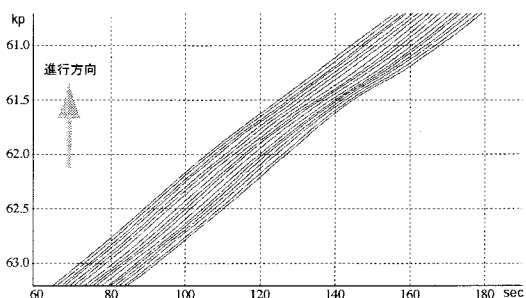


図-12 pt5のタイムスペース図

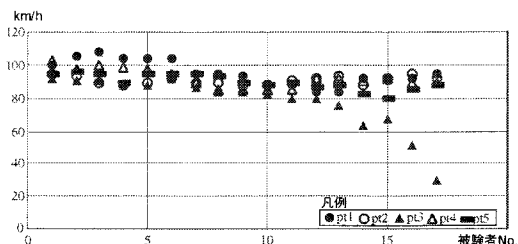


図-13 61.15kpの車群内速度分布

## 6. まとめ

本研究では、自由走行から抽出された5種類の走行挙動パターンが後続する車両へ与える影響を、ドライビングシミュレータを用いた追従実験により把握した。

その結果、サグ渋滞に関して運転者の速度低下だけでなく、その後の速度回復の有無も大きな要因となりうることが分かった。

今後は以下のことを課題として考えている。

今回の実験で確認できた現象は、1つの限られた被験者群による実験結果であるため、その結果を一般的であると断定することはできない。すなわち、新たな被験者群によって同様の実験を行い、結果の妥当性を検討する必要がある。さらに、今回の実験では、17台という限られた車群内での現象であるため、今後さらにサンプルを加え、先頭車両の影響がさらに積み重ねられることによって発生する現象も分析する必要がある。また、走行挙動パターンについても、平均速度を100km/hに設定して行っているため、この平均速度を段階的に変化させた感度分析を行い、本研究で着目した走行挙動パターンによる交通流現象が100km/h以外の速度域でも確認できるか検討する必要がある。

### 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/IV-5，pp.1-7，1986.
- 2) 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，pp.65-69，1995.
- 3) 藤原寛史，越正毅：首都高速道路のサグ部および曲線部におけるドライバーの運転挙動に関する研究，第17回交通工学研究発表会論文報告集，pp.85-88，1997.
- 4) 飯田克弘，池田武司，河井健，森康男，山岸将人：プロトコル法を用いた運転者挙動分析結果に基づくサグ部の道路構造改善方針の検討，土木計画学研究・講演集，No.23，pp.813-816，2000.
- 5) 金子哲也，大口敬，飯田克弘，渡邊享：ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究，土木計画学研究・講演集，No.23，pp.801-804，2000.
- 6) 飯田克弘，森康男，金鐘曼，池田武司，三木隆史：ドライビングシミュレータを用いた室内実験システムによる運転者行動分析-実験データの再現性検討と高速道路トンネル坑口の評価-，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.93-100，1999.