

# 高速道路サグ部における交通現象の解析

AN ANALYSES OF TRAFFIC PHENOMENA ON MOTORWAY SAGS

西村光司 指導教授 越正毅

## 1 研究の背景と目的

高速道路の単路部における交通渋滞の大半が、サグ部において発生している。しかし、渋滞発生のメカニズムや渋滞中における交通現象に関しては、いくつかの調査研究がなされてはいるが、いまだ仮説の段階である。

そこで本研究においては、過去に行なわれた様々な研究の成果を参考に、サグ部における交通現象を把握し、渋滞発生のメカニズムと交通流の特性を解析することにより、サグにおける渋滞現象をより詳細に説明することを目的とした。

## 2 交通流観測

本研究においては、東名高速道路上り線綾瀬B S付近サグ部(30.87 ~ 28.28kp)を対象に、ビデオカメラを用い7地点において交通流観測を行なった。観測は、1999年8月22日(日)の14:00 ~ 16:00の2時間行ない、ビデオ画像から各観測地点の交通量と、追越車線を走行していた車両を対象に地点速度および車頭距離を算出し、解析を行なった。観測地点と縦断線形の形状を図-1に示す。

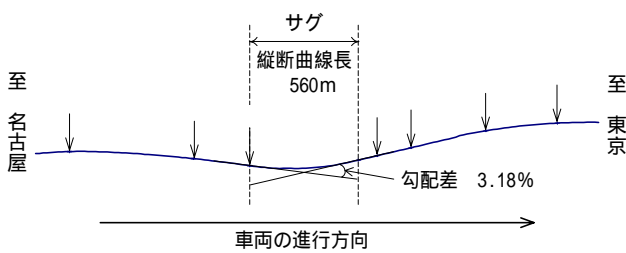


図-1 観測地点と縦断線形の形状

## 3 解析結果と考察

ここでは、交通流観測により得られた車両の走行データをもとに、対象とする観測区間内の交通現象を把握し、ここに発生した渋滞現象を解析した。なお、大型車の影響については、大型車混入率が10%以下であり、また大型車が特に普通車と異なる挙動を示さなかったために、本研究においては特に考慮しなかった。

### (1) 渋滞発生のメカニズム

本研究において観測された渋滞現象は、サグ下流の地点付近で発生した速度低下が原因であった。しかしこのような速度低下が、必ずしも直ちに渋滞の始まりになるわけではないことが明らかになった。これは、自由流中の車群の到着間隔が比較的まばらであれば、車群中に発生した速度低下により大きく減速を強いられた車両が、速度を回復させた後に、次の車群が到着するために、渋滞には至らないのである。

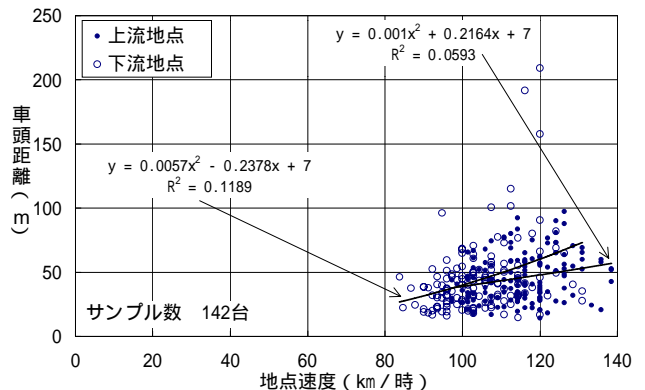
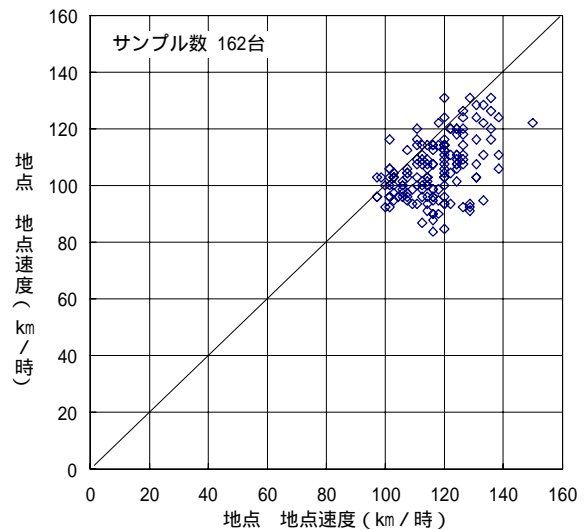


図-2 サグにおける車両の走行挙動の変化

図-2は、サグの始点と終点における地点速度の変化と、車頭距離と地点速度の変化を表している。

上段の図から、サグ下流において大部分の車両が速度低下を起こしていることがわかる。また下段の

図から、速度低下をしているにも関わらず車間距離を詰める傾向がないことから、サグ下流においてフローレートが低下していることがわかる。このことは、サグにおける渋滞発生メカニズムの仮説、すなわちサグ下流における「速度の低下」、「フローレートの低下」および「同速度における車頭距離の増加」が実際に生じており、このサグ部がボトルネックになるメカニズムの仮説を検証したといえる。

さらに本研究では、渋滞発生のきっかけとなる速度低下に着目し、各車両の挙動について分析した。

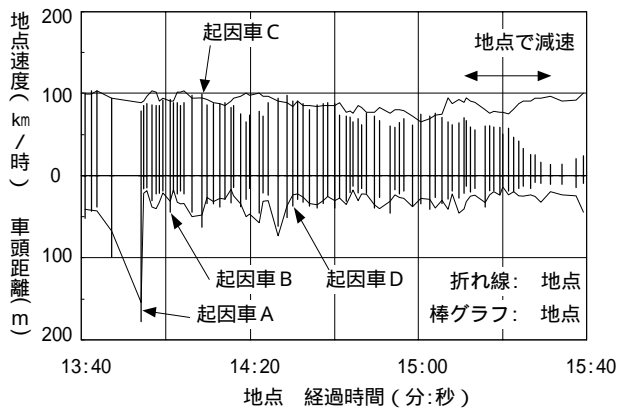


図 - 3 速度低下を起こす車両の走行挙動

図 - 3 は、地点付近において発生した速度低下について、各車両の走行挙動の変化を表している。図に示した起因車 A ~ D は、それぞれ前方車に追従しておらず、漫然とした走行をしているといえる。特に起因車 A は、前方車から大きく離れていることから、漫然とした単独走行をしていると考えられ、このような挙動が後方に大きな車群を形成させたといえる。起因車 C についても同様にいえる。さらに起因車 B は、速度が低下しているにも関わらず車間距離を広げ、フローレートを低下させている。起因車 D については、速度の低下はないが、加速が緩慢なために車間距離が増加し、フローレートを低下させている。渋滞発生の直接の原因となった速度低下においても、起因車といえる車両が存在していたことから、サグ部における渋滞は、数台の起因車が大幅な「速度の低下」、「フローレートの低下」を車群中に発生させるために生じたと考えられる。しかしこのような起因車の存在が、渋滞発生の必要十分条件であるかについては明らかではなく、これらの車両が全ての区間で常にこのような渋滞の原因となる挙動をとっていたわけではないこともわかった。

## (2) 交通流における波動の伝播

本解析においては、渋滞の先頭が移動する現象と、交通流中に発生する加減速の衝撃波の伝播について解析を行なった。

図 - 4 に、サグ上流の地点からサグ下流の地点までの 4 地点における 30 秒平均地点速度と密度の時間変動を示す。

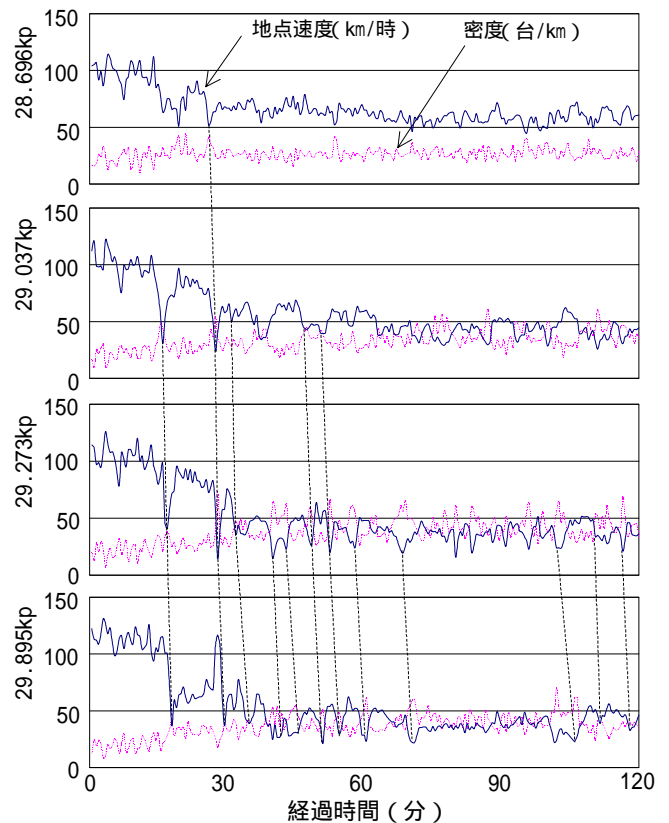


図 - 4 サグ部における速度、密度の時間変動

この図から、30 分付近に地点で観測された速度低下が、上流地点に伝播したことがきっかけとなり、渋滞が発生していることがわかる。渋滞発生後においては、地点での減速が上流に伝播しておらず、地点における速度よりも高い速度が地点で観測されていることから、渋滞発生後は地点が渋滞の下流に位置していたと考えられる。

渋滞先頭から発生した減速波は、サグの縦断曲線終端の下流に位置している および 地点において観測され、数分の周期で発生して上流に伝播していることがわかる。また渋滞先頭にみられる低速、高密度の状態がサグの上流地点に位置している 地点においても観測されていることから、渋滞先頭がある地点に留まることなく、サグの縦断曲線終端の前

後、およそ500mの区間を数分の周期で移動していたことがわかった。渋滞先頭位置が移動する現象については、次のように説明することができる。

サグの下流で発生した渋滞の先頭からは、発進加速が生じるが、渋滞流中の密波からの発進では、密波のフローレートが低いために発進の衝撃波は上流に伝播し、渋滞の先頭が上流に移動する。また渋滞の先頭からは、発進加速を始める車両が、速度を回復させサグの勾配変化地点を通過し、さらにサグの下流に連続している一定勾配の上り坂の影響を受け、再び速度低下を起こすことから、渋滞の先頭が下流へ移動することになる。このように周期的な衝撃波の発生伝播が生じ、渋滞先頭がある地点に留まることなく、ある区間内を前後に移動する。

次に、渋滞流中における加減速の衝撃波の伝播については、渋滞先頭から発生する減速波が、発生地点の上流を走行している車両の速度あるいは密度が高いほど、その伝播速度が高くなるということがわかった。自由流領域で発生したものでは7～33km/時、渋滞流領域では10～22km/時であった。さらに減速波は、発生地点から長い区間を伝播する場合と伝播の途中で消滅してしまうものがあることもわかった。また、加速波については、渋滞先頭から発進加速を始める車両が、必ずしも一様な加速をしないためにその伝播状態をはっきりと確認することができなかった。

### (3) 交通流の巨視的特性と微視的特性との対応

本解析においては、交通流の巨視的状态量である交通量と密度の相関、微視的状态量である車頭距離と速度の相関について解析した。

交通流の自由流領域と渋滞流領域が不連続であることはすでに知られていることであるが、このことは本研究で対象としたサグ部における交通流からも確認された。

地点における交通量と密度、および車頭距離と速度の相関図をそれぞれ図 - 5、図 - 6 に示す。

図 - 5 から自由流領域と渋滞流領域がおよそ50～83km/時の不連続領域によって分けられていることがわかる。このように交通流の巨視量である交通量と密度の相関が不連続であるとすれば速度と密度の相関および速度と交通量の相関も不連続になるはずである。また、このような交通流の巨視量の相関は、そもそも個々の車両の走行挙動における車頭距離と

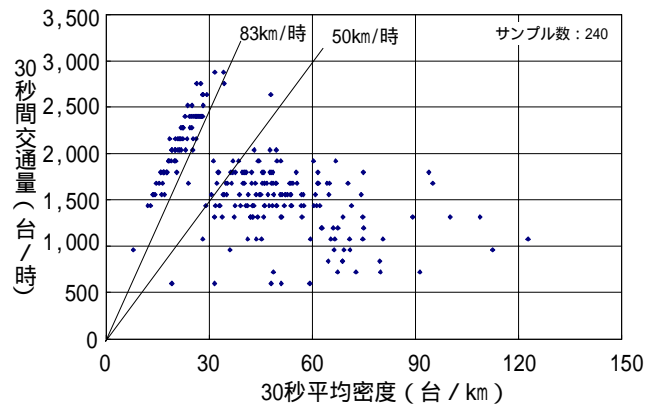


図 - 5 交通量と密度の相関図

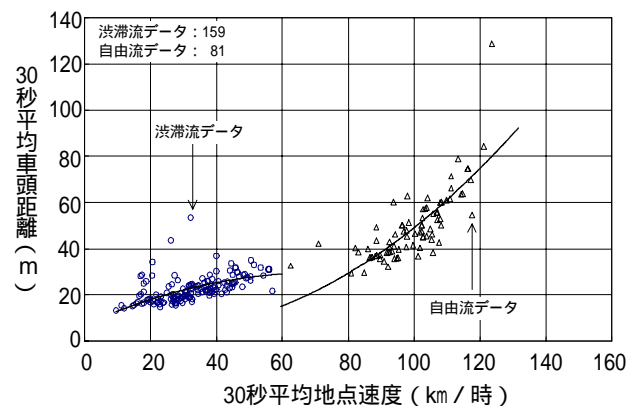


図 - 6 車頭距離と速度の相関図

速度の関係という微視的な現象から生じたものであるといえる。図 - 6 から自由流領域において比較的低速の部分と、渋滞流領域において比較的高速の部分の車両挙動について考える。

自由流において前方を希望速度よりも遅い車両が走行していると、前方車よりも高い速度で走行しようとする後続車は、苛立って前方車との車間距離を詰めて走行する傾向があるために、自由流領域の低速部分において車頭距離が比較的狭くなっているといえる。渋滞流においては、渋滞のために希望速度で走行することができず、非常に低速の状態を強いられることから前方車に追従する意欲がなくなると考えられる。このことから前方車が加速を始めたとしても後続車は直ちに加速をせず、前方車との車間距離が離れてから、一気に加速をする傾向があるために、渋滞流領域の高速部分において車頭距離が比較的広がっているといえる。つまりこのような車両の追従挙動が、交通流の巨視的状态量の相関平面上において、自由流領域と渋滞流領域に不連続を生じさせていると考えられる。

地点における交通量と密度、および車頭距離と

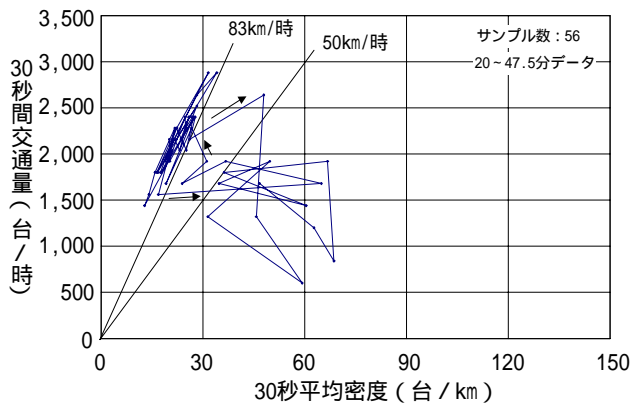


図 - 7 交通量と密度の相関における周回現象

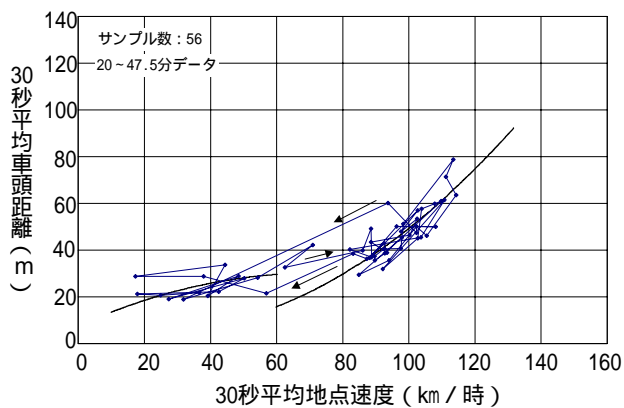


図 - 8 車頭距離と速度の相関における周回現象

速度の相関平面上における周回状の時系列遷移の過程をそれぞれ図 - 7、図 - 8 に示す。

図 - 7 から、自由流領域と渋滞流領域の不連続領域の交通状態が少ないのは、自由流と渋滞流との間の遷移が速いので、この領域に出現する頻度が低いからといえる。しかし、渋滞流から自由流に遷移する速度はその逆よりも遅く、この領域に比較的には長く留まることがわかる。図 - 7 および図 - 8 に示した周回状の時系列遷移については、各車両の追従挙動の特性から図 - 8 に示した車頭距離と速度の関係により説明することができる。これは各車両の追従挙動における、タイムラグによるヒステリシス現象であるといえる。このことは、個々の車両挙動の集積である交通量と密度の相関平面上においても現れている。さらにこの周回現象は、自由流から渋滞流への遷移時においても、また渋滞流中においてもみることができ、およそ 120 ~ 150 秒の周期をもって一周することがわかった。このようなヒステリシス周回が渋滞流中において、様々な交通量、密度の値で繰り返されることから、交通量と密度の相関平面上の渋滞流領域が雲のように分布することになる。

#### 4 まとめと今後の課題

本研究では、東名高速道路綾瀬 B S 付近サグ部において、交通流観測を行ない、そこに発生した様々な交通流現象について解析を行なった。

本研究の解析において明らかになった事柄は、以下のようにまとめることができる。

- 1) 自由流から発生した大きな速度低下は、必ずしも直ちに渋滞の始まりになるわけではない。
  - 2) このサグ部がボトルネックとなるメカニズムの仮説が検証され、この地点の渋滞が数台の車両の異常な挙動によって生じたことが知られた。
  - 3) 渋滞先頭位置は、サグの縦断曲線終端の前後、およそ 500m の区間内を数分の周期で移動していることが確認された。
  - 4) 自由流領域で発生した減速波の伝播速度のほうが、渋滞流領域で発生したものよりも速いことが知られた。
  - 5) 車頭距離と速度の相関の不連続については、渋滞流領域における緩慢な挙動を示す車両により生じるといえる。
  - 6) 交通量と密度の相関平面上における周回状の時系列遷移は、各車両の追従挙動のタイムラグによるヒステリシス現象であることが知られた。この周回はおよそ 120 ~ 150 秒周期で渋滞流中を一周しており、さらにこのヒステリシス周回が様々な値で繰り返されるために、渋滞流領域が雲のように分布することが知られた。
- 今後の課題としては、以下のような事柄が挙げられる。
- 1) 本研究においてサグ部で発生する渋滞が、ある異常な挙動を示す車両の存在によって起こったことが知られたが、このような車両の存在が、渋滞発生の必要十分条件であるかどうかは明らかにされていない。
  - 2) 交通流中に発生する加速波の伝播をはっきりと観測できなかったことについて、渋滞先頭からの発進加速流に着目し、今後これらの伝播状態を明らかにすることが望まれる。
  - 3) 自由流から渋滞流への遷移時、および渋滞流中もみられた周回現象と、渋滞流中に発生する交通現象の関連についても今後の課題として残される。