

1

渋滞発生と伝播のメカニズム



岩崎 征人
IWASAKI Masato

東京都市大学名誉教授

渋滞とは何なのか？ 何故渋滞が起きるのか？ 何故信号機のない高速道路で渋滞するのか？ 道路の容量と交通量の関係や渋滞が発生・伝播していくメカニズムを学び、そして渋滞を軽減していくためには、どうすればよいのか、「渋滞」の根本を知る。

道路の交通容量とボトルネック

交通渋滞を理解する上で、まず道路が車を通す能力には限界があることを知っておいてください。道路がある単位時間内（通常1時間）に通すことの出来る最大車両数のことを「交通容量」と言い、道路の種類や区間によって異なります。道路の種類で言えば高速道路（都市内と都市間）と一般道路、道路の区間で言えば一般道路の単路区間（交差点の無い道路区間）と平面交差点、高速道路の合・分流部、トンネル区間、登坂区間、サグ区間（下り勾配から上り勾配に変化する区間）などです。

ここでは、高速道路の単路区間で発生する交通渋滞を取り上げてみます。高速道路の単路区間とは二つのインターチェンジに挟まれた交通の出入りの無い区間のことです。この単路区間に流入してくる交通量が少なければ、渋滞は発生しません。しかし、朝・夕のラッシュ時やゴールデンウィーク、お盆休み、暮・正月などの交通の繁忙期には渋滞が発生します。この渋滞は、前述した交通容量の異なる区間から構成された道路区間のうち、交通容量が最も小さな区間を先頭として発生します。この交通容量の最も小さな区間を「交通容量上の隘路」または「ボトルネック (bottleneck)」と呼びます。



写真1 高速道路の渋滞

交通集中渋滞と突発渋滞

交通工学の専門的な言葉では「交通渋滞とは、ボトルネックにその区間の交通容量を上回る交通需要が到着した時に、当該区間の上流（車が走って来る側）に生じる低速の待ち車両列によって形成される交通状態」を言います。

ボトルネックとは、交通流と呼ぶ「流れ」を通す「管（道路）」の断面積がその管の上下流に比べ相対的に「狭く」なっている箇所のことです。交通渋滞は結局のところ、この管の「狭い」部分に、そこを通過することが出来るよりも多くの交通が来た時に発生します。ですから、この場所を過ぎてしまえば、元の通り流れる（速度を上

げて走る）ことが出来る訳です（図1）。

交通渋滞の発生原因は「交通の集中」「突発事象の発生」「工事」の三つが主たるものですが、これ以外にも「自然現象」「催し物」などによって生じる渋滞もあります。

交通集中渋滞は、道路および交通の条件に依存して発生します。私達が、日常的に耳にしたり眼にしたりする多くがこの渋滞です。この渋滞は、交通需要を知ることが出来れば、発生を予測することが可能です。

突発渋滞は、交通事故や車両故障など予期しない事象の出現によって道路上にボトルネック（車線の減少や閉塞）が形成された結果生じます。その外に、道路工事によって一時的にボトルネックが形成され、その結果発生するいわゆる工事渋滞があります。

事故や故障車などに起因する渋滞は予知が出来ません。これを原因とする突発渋滞は、道路利用者に責任があったとしても、道路管理者としては原因となった事故や故障車を出来るだけ速やかに除去することで、渋滞の延伸を抑えなければならない訳です。一方、工事に起因する渋滞の影響を出来るだけ小さくするためには、道路管理者として工事の情報を事前に利用者に周知するとともに、交通需要の出来るだけ少ない時間帯を選ぶ工夫が必要になります。

渋滞発生のかきかけと伝播の機構

ボトルネックのうち、特に道路の構造要素であるサグ、上り勾配、曲線区間や長いトンネルの入り口で起こる渋滞については共通した特徴があります。それは、先頭を走る車の「速度低下」と、その車の後を走る車が接近し過ぎることによる制動行為がキッカケとなることです。先頭車の速度低下と言いつても、多くの場合は運転者が意図的にブレーキペダルを踏むような制動ではありません。サグの場合には、運転者が上り勾配区間に入ったことを認知出来ず、アクセルを踏み込まないことによって徐々に速度が低下します。トンネルやカーブへの進入時なども同様に、運転者が無意識にアクセルを弛めるために速度低下が生じます（図2）。

これらの速度低下の原因は、運転者（人間）の心理や生理によって引き起こされることが分かっています。安全に対する運転者の感覚、具体的には安全だと考える速度や車間距離が運転者によって異なるためです。ある人が安全だと思う速度や車間距離であっても、他の人は危ないと思うこともあります。また、トンネルの様な閉塞空間に入るのを何とも思わない人がいる一方で、閉塞空間に入ることを恐いと思う人もいます。この様に様々な心理的特徴を持った運転者で構成される交通流がトンネルの様な閉塞空間に入ると、明るい所と同じように速度を維持しようと思う人がいる半面、怖さのあま

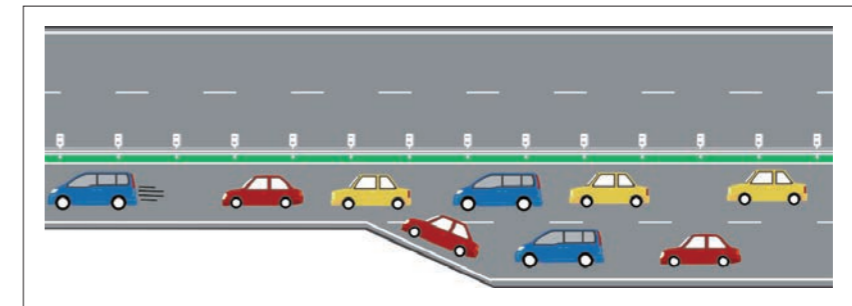


図1 「ボトルネック」のイメージ

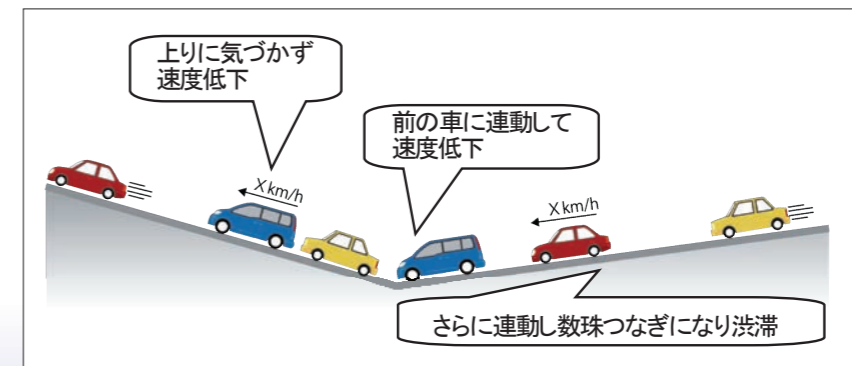


図2 「サグ」による渋滞イメージ



写真2 トンネルのよういきなり暗いところに入ると目が慣れるのに時間が必要 (暗順応)

りアクセルを弛めてしまう人もいます。さらに、目の生理として、明るいところから暗い所に入ると、周囲の暗さに慣れるまで短い時間が必要になります。これを「暗順応」と呼んでいます。このような運転者の心理と生理によって、どうしても閉塞空間に入ると速度低下を起す運転者が出てきます。

加えて、人間には行動を起こす時に「反応時間遅れ」が生じます。これは、物を見て、脳で判断し、行動を起こすまでにかかる時間のことで、1~2秒です。運転免許更新時などに、ライトの点灯を見てからレバーを操作する類のテストを受けたと思いますが、あれはその人の反応時間を測っている訳です。この反応時間遅れが原因になって、後続運転者は多くの場合、前車の速度変化よりも過剰な反応をします。前車が減速した時にはより大きな減速をし、逆に、前車が加速した時にはそれよりも大きな加速をします。そうしてこの過剰反応が後続の車に伝播していくと、交通流の中で速度変化の増幅現象が引き起こされます。

サグ区間やトンネルに入った直後の区間で速度低下とそれに伴う増幅現象が起こっているのを知らずに、上流からはどんどん車が来る訳です。交通量が飽和(交通容量)状態かそれに近い状態の下で、サグ区間やトンネルに差し掛かった先頭車が起こした些細な速度変化が後続する車によって増幅され、後方に伝播していき、先頭車から何十台も後ろを走る車は、結局速度ゼロになるまで減速せざるを得な

くなる訳です。これが、渋滞の発生と速度変化の後方への伝播メカニズムです(図3)。

渋滞と超過交通需要

交通渋滞に巻き込まれた経験のある運転者の多くは、その時の渋滞がとんでもなく大量の交通需要によって引き起こされていると感じるようです。確かに、盆・暮や長期の連休に高速道路上で発生する渋滞は、間違いなく大きな交通需要によって引き起こされます。しかし、平日の都市内街路や高速道路で発生する交通渋滞については、比較的少ない需要の超過によって発生していることが知られています。

例えば、首都高速道路の平日朝の通勤時に発生する渋滞を考えてみましょう。都心環状線に接続する放射線の上りで、朝の7~9時の2時間に最長7kmの交通集中による渋滞が発生したと想定し、以下の交通条件下で超過需要を推定してみます。

まず、ボトルネックの交通容量を2,700台/時・2車線(1,350台/時・車線)とします。ボトルネックより上流側の渋滞流の密度を70台/km・車線、上流からの自由流領域の密度を20台/km・車線とすると、渋滞流と自由流との密度差は50台/km・車線となります。結局、最長7kmの渋滞区間の中に滞留している車両の数(超過需要)は、2車線合計で以下ということになります。

$$D = (70 - 20) \times 7 \times 2 = 700 \text{ 台/2車線}$$

一方で、この路線のボトルネックの交通容量は2時間

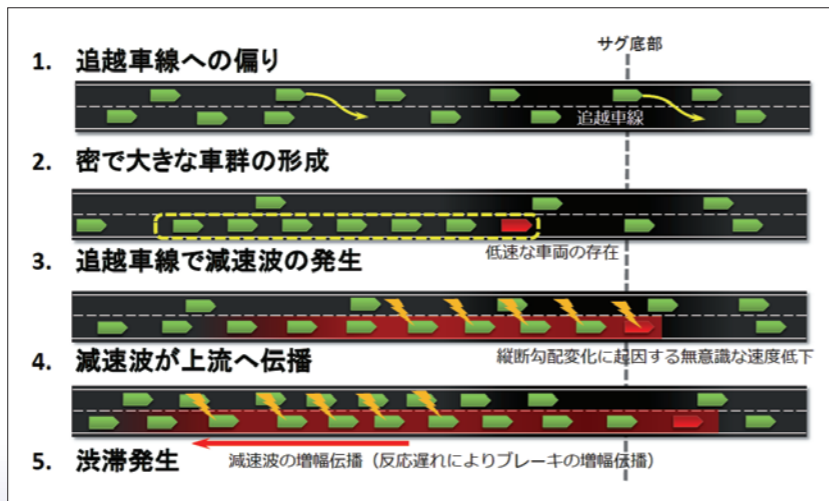


図3 サグ部における渋滞の伝播例

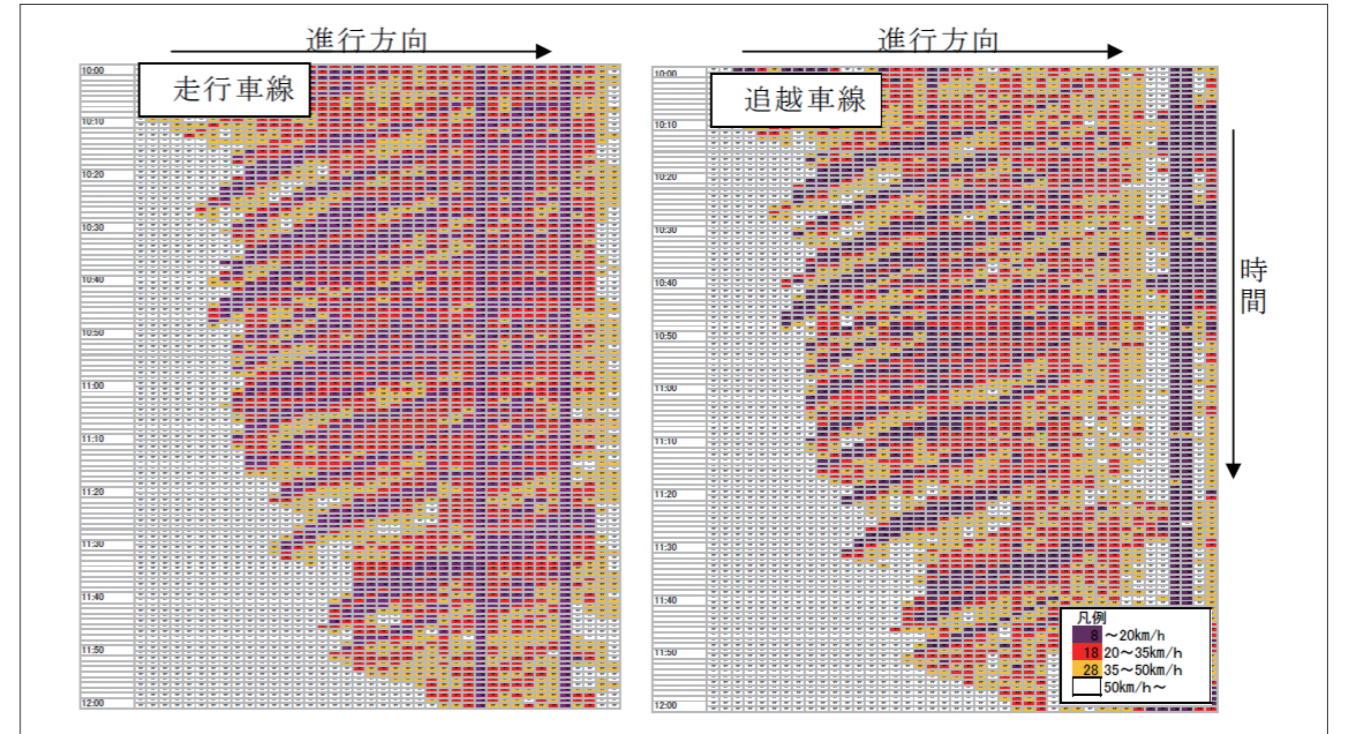


図4 疎密波の上流への伝播例(首都高速道路3号線上り)

で5,400台/2車線 捌くことが出来ます。よって需要の超過割合は以下となります。

$$s_d = \frac{700}{5400} \times 100 \approx 13(\%)$$

結局、朝の7時に発生して最長7kmまで延伸した渋滞は、結果的にはボトルネック交通容量の約13%の超過需要で引き起こされたことが分かります。

次に、信号交差点を先頭にして発生する渋滞を考えてみましょう。通常信号交差点の直進車線1車線の交通容量は、スプリット(当該信号機での緑時間の割合)を50%としますと、良好な道路・交通条件のもとでは900台/時・車線と考えてよいでしょう。すなわち、赤時間も含めて考えると、平均で4秒に1台の割合で交差点を通過していることになります。

今、7時以前には渋滞がないこの交差点に、交通容量を10%上回る需要(990台/時・車線)が到着するとします。当然のことながら、1時間に90台/車線の車両が停止線の上流に滞留し始めます。この状態が朝の7~9時の2時間続くとする、9時の時点では180台/車線の車が停止線の上流に滞留していることになります。9時の時点で渋滞の最後尾に到着した車両の交差点通過時間は、ごく単純に考えますと以下となる分かります。

$$d = 180 \times 4 = 720 \text{ (秒)} = 12 \text{ (分)}$$

今、信号サイクル長を60~90秒と考えますと、この車がこの交差点を通過するために8~12サイクル待たなければならないのです。こんな(大)渋滞ですら超過需要10%の交通によって引き起こされているのです。超過需要の影響がいかに大きいか分かります。

実際の信号交差点の交通容量は路側の駐車車両や横断歩行者の存在、さらにはバス停留所の位置など、容量に影響する様々な要因によって、直進車線であっても交通容量は900台/時・車線よりも小さくなります(現実には700台/時・車線くらい)ので、もっと少ない超過需要で同じような規模の渋滞が引き起こされている、と考えてよいでしょう。

このように、都市の道路や街路上で日々繰り返されている交通渋滞は、多くても10数%の超過需要が原因で発生することが分かります。ですから、超過需要を如何にして抑制するか、同時に如何にしてボトルネックの交通容量を増大させるかが、道路管理や交通管理に携わる交通技術者にとって大切な仕事になってくる訳です。

<図・写真提供>
 図1、2、写真1 株式会社片平エンジニアリング
 図3 国土交通省オートバイロッドシステムに関する検討会配布資料
 図4 『交通工学ハンドブック2014』一般社団法人交通工学研究会