

交通渋滞の科学*

桑原雅夫^{*1}

1. はじめに

交通渋滞は、旅行時間に多大な遅れをもたらすばかりか、車両の加速・減速が頻発するために、騒音や大気汚染に大きな影響を及ぼしている。本稿では、交通渋滞の特徴、発生メカニズムを簡潔に紹介するとともに、効果的な対策について考察する。

2. 渋滞の特徴

図-1は、ピーク時間帯における国道の旅行速度の経年変化を表しているが、東京、大阪、名古屋といった大都市の旅行速度は、20 km/h弱であって全国平均の約半分程度である。朝夕のピーク時に運転経験のある方はお分かりの事と思うが、比較的整備されている国道以外の道路では、場合によって時速数キロの歩行速度程度でしか走れない道路も数多い。

道路にはその幾何構造(車線幅、側方余裕、勾配、曲率など)によって単位時間に通すことのできる最大の車両台数があり、この台数を道路の容量と言う。交通渋滞は、やってくる需要がこの容量を上回った時に発生し、容量を超過した需要が渋滞列として貯っていく現象である。渋滞の第1の特徴は、需要が容量をほんのわずかに上回ったとしても、渋滞の継続時間が長ければ超過した需要が次々と累積していくために、大渋滞列が形成されてしまうことである。

それでは、この需要の超過分はどの程度の量であるのかを調べてみよう。我々の調査によれば、平日の都市内渋滞の場合には、容量の数%から十数%程度の超過需要しかないことが観測されている²⁾。例えば、青梅街道の上り方向のある渋滞交差点では、朝ピーク時の需要の超過量は3~5%、環状7号線の渋滞交差点では、約7%であった。また、首都高速

道路4号線の上り方向での超過需要も13%であった。日頃、大渋滞を目の当たりにしている我々の印象と比べると、はるかに少ない需要の超過分であっても数時間渋滞が継続すると長い渋滞列を形成してしまうのである。

しかしながらこの裏を返せば、交通渋滞はわずかの容量の改善であっても、大きく緩和あるいは解消される可能性があることを意味している。従って、道路施設整備のように長期にわたってかなりの投資が必要な対策以外にも、交通信号制御の見直しや交差点改良など、既存施設を上手に利用させる短期的な交通運用策も渋滞緩和には、かなり効果が期待できる。

渋滞の第2の特徴は、図-2にあるように渋滞が継続する時間は、需要超過時間(需要が容量を上回っている時間)に比べてかなり長いことである。図-2の下は、需要が容量を超過する様子を模式的に表したものである。時刻 T_a までは需要が容量に満たないので、渋滞は発生しないが、時刻 T_b から T_c にかけて需要の超過が起こると渋滞が始まる。需要が容量のレベルにまで減少した時刻 T_d になっても渋滞は終わらない。むしろ、時刻 T_a から T_b までは、超過した需要が渋滞列となって道路上に滞留するので、時刻 T_b は渋滞の長さが最も長くなる時刻である。その後、需要が小さくなると滞留していた車両が徐々に少なくなって、最終的に時刻 T_d で渋滞は解消する。東京近郊の主要道路においては、需要超過の時間は、早朝の1時間程度であるにもかかわらず、渋滞は数時間継続してしまうことがよくある。

3. 車の利用と道路インフラ

図-3は、主要国の千人あたりの車両保有台数を示したものである。アメリカ合衆国は、自動車依存率が高くきわめて高い保有台数である。わが国の保有台数は、西欧諸国と同じ500台/千人程度であるが、公共交通機関の発達している東京都の保有台数

* Science on Traffic Congestion

^{*1} Masao Kuwahara: The University of Tokyo (東京大学生産技術研究所)

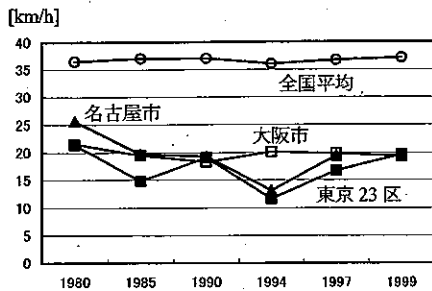


図-1 一般国道のピーク時旅行速度
(国土交通省 道路交通センサス)

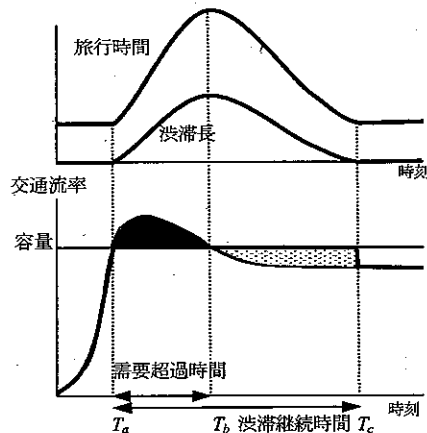


図-2 渋滞現象の模式図

は350台/千人程度とかなり低い。わが国の保有台数の大きな特徴は、西欧諸国に比べて貨物自動車の保有台数が多いことである。

図-4は、各国の自動車走行台キロを表している。走行台キロとは、すべての車両の走行距離を合算したもので、自動車の利用の程度を表す指標である。貨物車は保有台数が多いばかりでなくその利用も西欧諸国に比べて活発である。

図-5は、物資輸送について輸送機関別のトンキロの経年推移を表したものであるが、物流における自動車の役割が大きいことが一目瞭然である。物流の自動車依存度は、人口の増加割合を上回る勢いで大きくなってきており、現在ではわが国一人当たりの年間トンキロは4,500トンキロ/人/年にも及んでいる。私たちは多頻度小口輸送によるジヤスト・イン・タイムのおそらく世界一の配送サービスを享受しているのであるが、一方でそれによって渋滞という弊害も引き起こしていることを忘れてはならない。

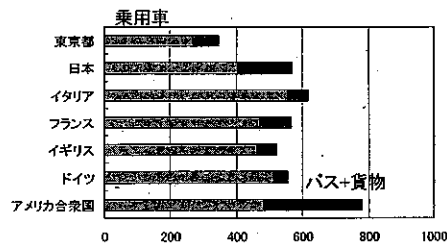


図-3 各国の自動車保有台数 [台/千人]
1999年末の値、ただし東京都は2000年末の値

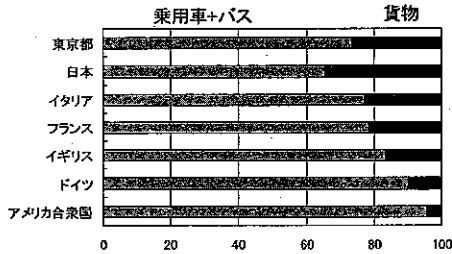


図-4 各国の自動車走行台キロ [%]
1999年末の値

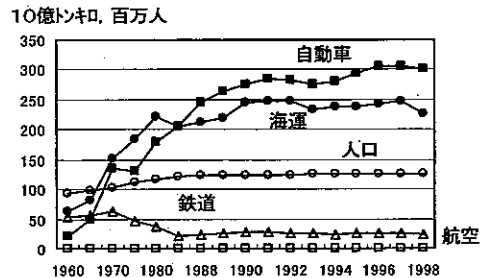


図-5 輸送機関別のトンキロ、人口の経年推移

ただし、このような自動車物流も、製品の高付加価値化、IT技術などによるロジスティックスの効率化、車両の大型化などにより、今後は保有台数もトンキロも減少傾向に進むものと考えられている。

図-6は、各国の舗装道路延長を表したものである。東京都の値はきわめて興味深い。人口当たりの簡易舗装を含む舗装道路延長は、全国平均値及び西欧諸国の値に比べてはるかに低くなっている。(車線数も少なく側方余裕も小さいわが国大都市の道路において、人口当たりの道路面積を考えると一層小さな数値になるであろう。)一方、東京都の面積当たりの舗装道路延長を見ると一転して、きわめて高い数値になる。すなわち、東京では道路インフラは既にかかなり密に建設されているものの、それを上回る

人口集中があることを示している。したがって渋滞対策として新たに道路整備だけに頼ることは、きわめて困難であり、前節でも述べたとおり短期的な交通運用策による渋滞対策が、大都市では効果的かつ現実的である。

4. 一般街路の渋滞

一般街路の渋滞はほとんどが交差点で発生する。交差点は、異なった方向の交通が交錯するので、ボトルネックとなりやすい。環状6号線の内側を対象にした渋滞原因調査³⁾によれば、約7割以上の交差点の渋滞は、路上駐車が原因で引き起こされており、続いて信号の調整がうまくいっていないこと、車線構成や車線数が不足していることが原因としてあげられている。路上駐車管理、信号の調整の見直し、レーンマーキングの引きなおしによる車線増、といった短期的な対策で渋滞が軽減できる可能性が高い。

2番目に多い渋滞原因であった信号調整についてであるが、東京都内には、約14,000の交差点に信号機が設置されている。平均すると400メートル四方に一個所の割合で設置されているが、中心部では一層過密である。信号機というのは異なった方向の交通を上手に捌くためのツールであって、それが無いと事故が起きたり、処理が非効率になることが多い。したがって、信号機を適切な箇所に設置すること自体は悪いことではないが、信号には設置すべきパラメーターというものがあ、恒常的に交通需要

をモニターして、信号パラメータを調整する体制が必要である。

レーンマーキング引きなおしの典型的な例として右折レーンの確保がある。右折専用のレーンがないところでは、右折車がなかなか右折できないために後ろからくる車がつかえてしまっていて渋滞しているという例がよくある。このような場合には、一車線当たりのレーン幅は狭くなっても、何とかやりくりして右折専用のレーンをつくることで交通の流れがずいぶん改善される。もちろん、右折専用レーンをつくれれば、それに合わせて信号のほうも右折専用の青矢をつけて、レーン構成と信号制御を連動させていくことが大事である。

渋滞原因でもっとも多かったのが路上駐車であった。東京23区では何台くらいの車が路上駐車しているのだろうか。図-7は、都市圏における瞬間路上駐車台数を表しており、年々減りつつあるものの、まだ約13万台以上ある。わかりやすく言うと、ある瞬間に航空写真をとって、その写真から駐車している台数を数えたと理解していただければ良い(実際の調査は他の方法を取っている)。

特に交差点周辺に路上駐車車両があると、道路の有効幅員が減って交差点の処理能力が数割のオーダーで減少してしまう。先ほど述べたように、需要と容量の格差が高々十数%程度ということと比べると、路上駐車車両の影響は非常に大きい。

このように路上駐車管理が、容量を大きく改善できることは明らかであるが、さらに需要の抑制にも効果的である。東京都心に流入してくる車が、どこに車を駐車したのか調べてみると、乗用車の場合は約30%くらいが路上に駐車しており、貨物自動車の場合は半分強の車が路上に駐車場所を求めている。車を使ったら必ず駐車場所が必要であ

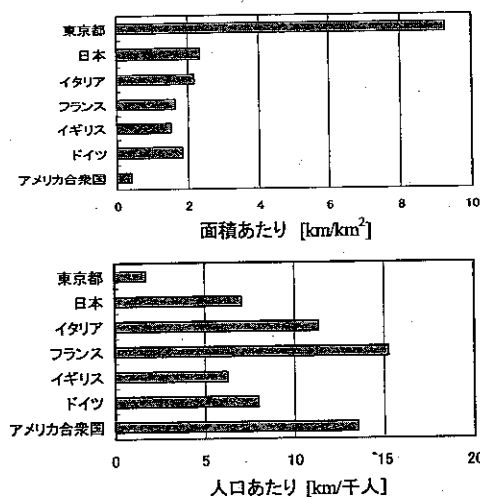
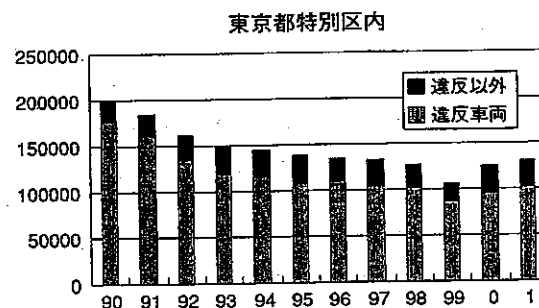


図-6 各国の舗装道路延長

1999年末の値、ただし日本、東京都は2000年末の値、ドイツは1998年末(簡易舗装を含む)



資料：財団法人都市交通問題調査会、都市交通2002、2002

図-7 東京23区の瞬間路上駐車台数

り、駐車場所がなければ車の利用をあきらめざるを得ない。この意味で、路上駐車を適切に管理することは需要の抑制にも効果的である。

路上駐車を適切に管理するためには、都内はほぼ全面駐車禁止であるという画一的な規制の見直しがまず必要であろう。交差点周りにように絶対に規制すべきところは厳格に規制して、ある程度駐車させても交通への影響が少ないという時間と場所については、それなりにパーキングメーターをつける、時間帯を指定して駐車を認めるといったような、柔軟でメリハリのある規制に変更すべきであろう。仮に、交差点の近傍 50 m の範囲で徹底的に路上駐車を排除するとしても、環状 6 号線内では約 1,500 台くらいを排除すればよいので、実効性のある数値である³⁾。

また、規制するのであればそれとペアで取り締まりも効率的に行う必要がある。取り締まり方法は、最近いろいろ工夫がされているが、その中でも数年前から導入されたものにホイールクランプ(車止め)や違法駐車標章がある。以前はレッカーで移動することが中心であったが、レッカーで移動すると時間がかかるし、移動した後に車の保管場所を用意しなければいけないというように、いろいろ手間隙がかかっていたのを改善した制度である。

また、近々路上駐車違反に対する車両の使用者責任の導入が行われる予定である。これまでは、運転者を特定しなければ取締りができなかったが、運転者を特定することは実際問題としてきわめて手間隙のかかることである。そのため、かなりの数の違反者が反則金を納めずに見過ごされてきた。

この使用者責任の導入は、欧米諸国ではすでに導入されている国も多く、歓迎されるべき施策であるが、国民の支持を得るためには、先に述べた通り、駐車規制も画一的な全面規制から、より柔軟な規制に転換することが必要である。さらに、都市の性格や活動規模に応じて駐車場は必ず必要であり、適切な量を路外に整備する必要がある。規制と取り締まりの他に、したがって路外駐車場の量と配置についても、同時に考えていかなければいけない。

5. 高速道路の渋滞

次に高速道路の渋滞について考えたい。図-8 のように日本道路公団管轄の都市間高速の渋滞原因をみると、交通集中による渋滞が全体の 7 割で、残りが事故や工事による渋滞である。交通集中による渋滞の内訳を見てみると、料金所渋滞が 35%、サグ・

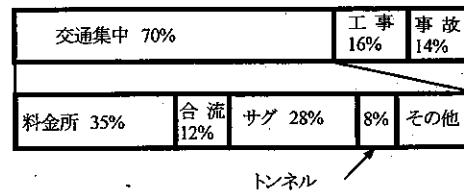


図-8 都市間高速道路の渋滞原因

トンネルで 36% である。サグというのは縦断勾配が変化するところ、たとえば下り坂から上り坂に変化するところ、あるいは急な下り坂からゆるやかな下り坂に変化するところもサグという。このようなサグ・トンネルでの、いわゆる自然渋滞が合わせて 36% と非常に多い。

そこでまず、サグとトンネルの渋滞について紹介する。縦断勾配が変化するサグやトンネルで、どうして渋滞が発生するのであろうか。普通、渋滞の先頭になるところは、車線数が減少する地点、合流部、分合流が連続する織り込み区間など、何らかの障害がある場所である。これらが何もないところで渋滞するのは不思議であったが、そのメカニズムが次のように次第にはっきりしてきた。

交通量が多くなってくると、ある一群の車が非常に短い車間距離で通るようになり、これを車群という。1つの車群が通り過ぎると、少し間をおいて次の車群がやってくるという具合だ。サグでは縦断勾配が変化するので、重力の法則によって、たとえば 100 km/h で走っていた車群の先頭車は、97 km/h 程度に自然に速度が落ちてしまう。それに続く次の車は、前車の速度低下によって車間距離が縮まるので、やや過剰に反応して 95 km/h くらいまで速度を落としてしまう。このように減速の度合いが、後続車になるにつれて大きくなって伝播してしまうために、車群の最後の方の車になると、30~40 km/h の速度まで落ちてしまうのである。車群と車群の間隔がある程度広ければ、30 km/h くらいにまで速度が低下してしまった車群の一番最後の車が、サグを抜けてから加速して速度を回復するまでの間、次の車群はやってこない。ところが、交通量がかなり多くなって、車群と車群の間が短くなると、次の車群がすぐに来てしまうので、車群後方の車が速度を回復するより前に次の車群が追いついてしまう。こうして、完全な渋滞に陥るのである⁴⁾。

図-9 は、中央高速道路の中野サグの写真であるが、漫然と運転していたのでは気が着かない程度の微妙な勾配変化である。運転者が勾配変化を認識で



図-9 中央高速道路中野サグ

できれば、アクセルを踏んで減速を阻止することができるが、このような微小な勾配変化箇所ではその認識がされず、渋滞が頻発している。

トンネルの場合もメカニズムはほとんど同じである。トンネルの入口で明るいところから暗く狭いトンネルに入ると、目がなれるまでに時間がかかることや、心理的な圧迫感によって、ドライバーはブレーキを踏まないまでもアクセルを無意識に離す。そうすると、車群先頭車は、ほんのわずかに減速する。それがサグと同様に増幅しながら後続車に伝播して渋滞に陥ってしまう。

サグ・トンネルの渋滞で特筆すべきことは、一旦渋滞が始まると交通容量が低下してしまう事実である。図-10は東名綾瀬バス停の交通状況である。棒グラフがボトルネックを流出する交通量、折れ線グラフは速度を表すが、速度が急激に低下して、渋滞が16時~20時半くらいまで継続していることが読みとれる。渋滞が始まった16時ころは、かなりの交通量が流れているが、渋滞が継続するにつれて交通容量が次第に減ってしまうのである。この理由としては、渋滞に長い時間巻き込まれていると運転者のドライビングテンションが低下して、車間距離を空けがちなになってしまうことがあげられる。このように、サグ・トンネル渋滞では、交通容量自体が低減

してしまうので、渋滞を起さない工夫が必要である。

6. 交通需要調整 (TDM)

最近、“TDM (Travel Demand Management)”という政策が注目されている。これは需要を調整して、渋滞を軽減しようとする政策である。需要の調整にはいろいろあるが、1つは混んでいる経路だけではなくて、空いている経路も利用しようという需要の“空間的な分散”である。最近では、カーナビの普及や情報版によって現在の交通情報を運転者に提供し、それを見た運転者が選択経路を変更するというように、経路変更に関する情報は数多く与えられるようになってきた。また、混んでいる時間帯に集中して利用するのではなくて、もう少し需要を時間的に平滑化しようとする“時間的な分散”も考えられている。さらに、“交通手段の選択”，つまり車から鉄道等のほかの交通機関に乗り換えさせるという政策である。また、1人で車を使っていたのを数人で使おうという“乗車人員の拡大”などが短期的なTDM政策として考えられている。

ここでは需要の時間分散について考えてみよう。ケーススタディとして、首都高速道路湾岸線の葛西のインターチェンジを先頭にする渋滞を分析してみる。図-11は、縦軸が時間で、横軸が千葉のほうから東京都心に向かう距離である。濃くなっているところが渋滞の発生している部分で、この面積が大きいほど渋滞が大きいことを表している。この日は葛西インターチェンジを頭に、約7キロの渋滞があって、遅れ時間が25分くらいあった。渋滞時間帯に葛西インターチェンジを通った車のうち約23%について、出発時刻を最大30分、平均16分適切に変更してもらおうと、この渋滞は全くなくなるという結果が出た。つまり、わずか15分程度の調整を効率的に行うことができれば、現在の7~8キロの渋滞はな

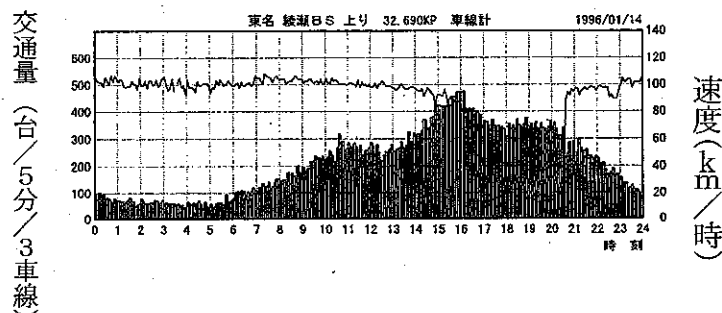


図-10 東名綾瀬バスストップ付近の渋滞現象

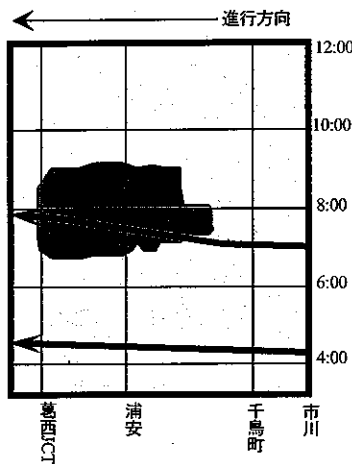


図-11 首都高速道路葛西付近の渋滞状況

くなる可能性があるということである。この他にも、関越自動車道の行楽帰りの交通における試算においても、やはり15分程度の時間調整が、渋滞緩和に非常に効果的であるという結果がでている¹⁾。

これらの試算結果は、どんな場所でも当てはまるものではないが、大都市圏であっても需要が容量を超過している時間がずっと継続しているわけではなく、需要超過時間は渋滞継続時間に比べて短いことは先述の通りである。したがって、需要の時間的な分散は、かなり期待できる潜在能力を持っているといえよう。

実際に時間分散を行う方法としては、すぐに実現できるものとして情報提供がある。現在の交通情報提供サービスは、ラジオ、テレビ、電話、FAX、VICSなど各種あるものの、そのほとんどが現在の交通状況を提供するものであって、トリップの時刻を変更する(いつ出かけようか決める)ための情報としては不十分である。トリップの時刻を変化させるためには、時刻によって交通状況がどのように変化する、あるいは変化してきたのかを提供する必要がある。要するに、現在の情報だけでなく、過去・現在・将来というように時間的に幅のある情報を提供することが必要である。最近では、インターネット、オン・ディマンド・カーナビ等により、過去の交通情報や旅行時間の予測情報などを提供する動きも出てきており、今後に期待がもたれる。

もう1つ実効性のある方策としては、駐車管理が

あるだろう。先に述べたように、路上駐車管理は容量増大として効果的であるばかりでなく、需要の抑制にも効果的である。時間分散を促進するためには、したがって時間的にダイナミックな駐車規制と取り締まりが望まれる。さらに、より強制的な政策としては、混雑課金、ゾーン流入時間規制なども検討が開始されつつある。

7. おわりに

本稿では、交通渋滞のメカニズムと対策について東京都市圏を中心に考察を行った。大都市圏では、面積辺りでは既にかかなり密に建設されている道路インフラが存在しており、渋滞対策をすべてインフラ整備に任せるわけには行かない。既存インフラについても、更新時期が近づいておりその維持管理費用がこれまで以上に必要なこと、少子高齢化による生産人口の減少および高齢化社会に向けて財政措置が必要なことなど、道路投資に充当できる資金に制約が大きい時期に向かっている。したがって、東京都市圏について言えば、環状道路の整備など、効率性の向上のほか生産性を高めるために必要な道路投資を選択して、しかも迅速に行うことが必要である。

さらに、ほんのわずかな需要超過によって引き起こされる渋滞に対しては、短期的な費用のかからない交通運用策が有効であるとともに、需要の時間分散政策などTDM政策にも積極的に取り組むべき時期に来ている。

参考文献

- 1) S. Ajisawa, T. Yoshii, M. Kuwahara: Impacts on traffic congestion by switching routes and shifting departure time of trips, Proceedings of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul, Korea (1998.10).
- 2) 桑原雅夫: 東京の交通問題, 東京大学工学部交通工学研究共同体編(技報堂出版, 東京, 1993.3).
- 3) 越 正毅, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 渋滞のメカニズムと対策, 生産研究, 41巻, pp. 753~760 (東京大学生産技術研究所, 1989年10月).
- 4) 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, 458号IV-18, pp. 65~71 (1993.1).