

高速道路における交通容量

石田 貴志¹・野中 康弘²・大口 敬³

¹正会員 株式会社 道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-13-14 マルヤス機械ビル)
E-mail:t_ishida@doro.co.jp

²正会員 株式会社 道路計画 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-13-14 マルヤス機械ビル)
E-mail:y_nonaka@doro.co.jp

³フェロー会員 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)
E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

我が国で初めて高速道路単路部のサグやトンネルが交通容量上のボトルネックになり得ることが指摘されたのは、1980年代になってからである。これ以降、高速道路の交通容量に関する議論がなされ、その変動要因について知見が蓄積されてきたところである。高速道路上を走行する自動車は、属性や運転技術の異なる個々のドライバーが操作し、その集積として交通流が形成されるため、道路線形が変化しない同一の地点であっても天候や明暗といった交通環境の違いによって交通容量は変化し、計画や運用時の課題となっている。一方、鉄道や航空といった他機関に目を向けると、これら移動体が管制によって制御されているため、交通容量は概ね一意に決められているようである。本稿は、今後オートクルーズ時代を迎えるにあたって、道路の交通をどうオペレーションしていくか議論するため、今一度高速道路における交通容量の変動要因と課題を整理し、問題を提起するものである。

Key Words : expressways, highway capacity, traffic operation

1. はじめに

我が国で初めて高速道路単路部のサグやトンネルが交通容量上のボトルネックになり得ることが指摘されたのは、1980年代になってからである。これ以降、高速道路の交通容量に関する議論がなされ、その変動要因について知見が蓄積されてきたところである。高速道路上を走行する自動車は、属性や運転技術の異なる個々のドライバーが操作し、その集積として交通流が形成されるため、道路線形が変化しない同一の地点であっても天候や明暗といった交通環境の違いによって交通容量は変化し、計画や運用時の課題となっている。一方、鉄道や航空といった他機関に目を向けると、これら移動体が管制によって制御されているため、交通容量は概ね一意に決められているようである。

本稿は、今後オートクルーズ時代を迎えるにあたって、道路の交通をどうオペレーションしていくか議論するため、今一度高速道路における交通容量の変動要因と課題を整理し、問題を提起するものである。

なお、交通容量の変動要因等の知見については、主に筆者らの都市間高速道路を対象とした先行研究¹⁾を参考としている。

2. 交通容量の定義と計測方法

(1) 「道路の交通容量²⁾」による定義

1984年に発行された「道路の交通容量²⁾」、いわゆる「茶本」では、交通容量を「一定の道路条件と交通条件の下で、ある一定の時間内にある道路の断面を通過することが期待できる自動車の最大数」と定義している。また、道路条件や交通条件、交通容量の使われ方により「基本交通容量」、「可能交通容量」、「設計交通容量」の3種類に分けている。それぞれの概要を表-1に示す。なお、「道路の交通容量」における交通容量の単位は「1時間当たりの乗用車換算台数 (pcu/h)」で表すことを基本としている。

表-1 「道路の交通容量」における交通容量の定義²⁾

| 交通容量の種類 | 概要 |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基本交通容量 | <ul style="list-style-type: none"> 道路・交通条件が基本的な条件を満たしている場合に通過することが期待できる乗用車の最大数。 多車線道路の基本交通容量は、1車線当たり2,200pcu/h。 |
| 可能交通容量 | <ul style="list-style-type: none"> 現実の道路の道路・交通条件の下で通過することが期待できる乗用車の最大数。 基本交通容量に道路・交通条件に関する補正率を乗じることで低減させる。 |
| 設計交通容量 | <ul style="list-style-type: none"> 道路を計画・設計する場合にその道路の種類、性格、重要性に応じ、その道路が年間を通じて提供すべきサービスの質の程度に応じて規定される交通量。 |

(2) 渋滞前の容量と渋滞中の容量

越ら^{3)~5)}はボトルネック近傍の車両感知器データより、渋滞が発生する過程の交通量と速度の変化を分析した(図-1)。交通量が図に示すlevel Aに示されるような値に達すると速度と交通量が急激に低下し、渋滞が発生する。このlevel Aの交通量を「渋滞前の容量」とした。この瞬間以降はボトルネックの上流で渋滞列が形成されるので、交通量はボトルネック容量を示していることになる。渋滞発生後は遷移期間 T_t を経て比較的安定した渋滞速度になり、交通量もlevel Bを経てlevel Cに低下する。このlevel B~Cの値を「渋滞中の容量」とした。初めて渋滞発生瞬間と、渋滞発生後で交通容量が異なることを示したものである。渋滞中の容量は5分間フローレートで2,200~2,700pcu/時/2車線であり、これまでに信じられていた可能交通容量4,000pcu/時/2車線を大幅に下回る。

(3) 渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量

交通容量の判読方法を明確に示したのは、平成7~10年度に(社)交通工学研究会内に設けられた「高速道路の交通容量に関する調査検討委員会(委員長:越正毅 日本大学理工学部教授)」である。それらをまとめた報告書⁶⁾や岡村ら⁷⁾によると、「渋滞前の容量」と「渋滞中の容量」は、それぞれ「渋滞発生時交通量」と「渋滞発生後捌け交通量」に置き換えられ、渋滞発生時交通量は渋滞発生直前の15分間フローレート、渋滞発生後捌け交通量は渋滞流中のフローレートと定義された(図-2)。

当委員会では、渋滞発生時交通量を15分間フローレートとしたのは、複数ボトルネックを対象に図-3に示す5種類のフローレートを判読した結果、主観によるものが最も標準偏差が小さいことを認めつつ、最も主観の値に近いのは15分間フローレートであること、主観の最頻値は15分間であったためとしている⁷⁾⁸⁾。

このような背景より、高速道路の交通容量は渋滞発生時と渋滞発生後で区分すること、計算値で求められるものでなく観測値を用いて議論することが一般的となった。

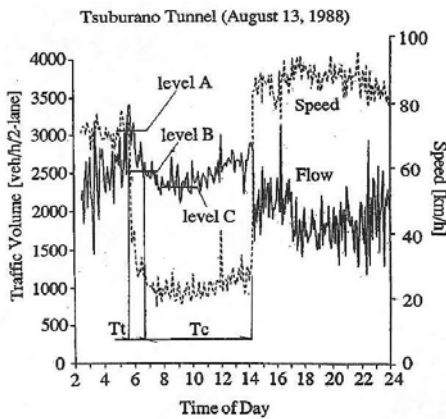


図-1 都夫良野トンネルの交通量速度変動図 (5分データ)⁵⁾

3. 交通容量の変動要因と観測値

交通容量は、道路条件や交通条件によって変動することが知られている。ここでは、その要因を整理する。

(1) 渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量

岡村ら⁷⁾は全国の都市間高速道路19箇所のボトルネックを対象に渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量を算出し、渋滞発生後捌け交通量は渋滞発生時交通量の0.82~0.91倍であることを実証した。図-4は筆者ら¹⁾が先

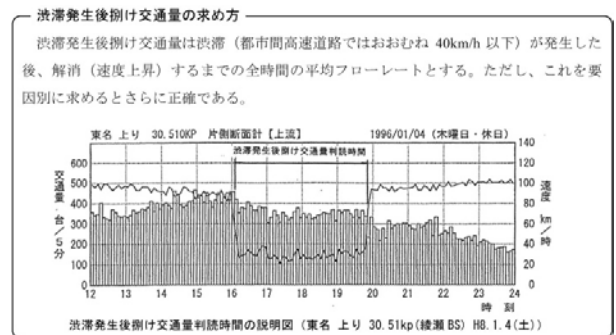
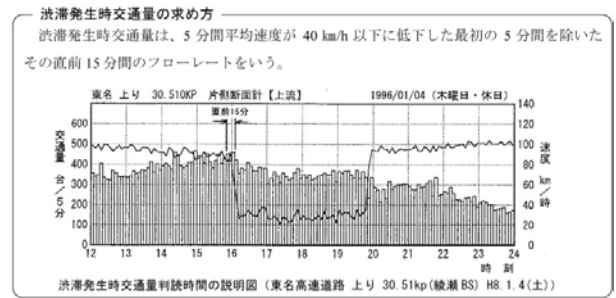


図-2 渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量の判読方法⁶⁾

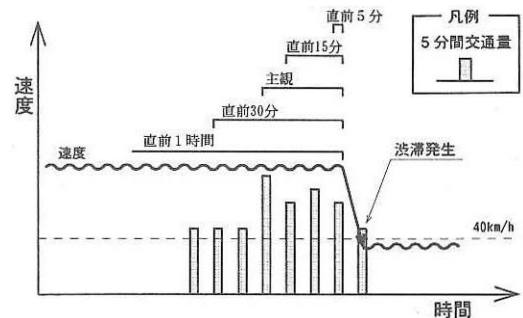


図-3 渋滞発生時交通量算出にあたっての比較対象¹⁾

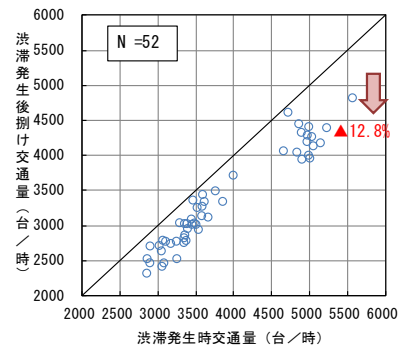


図-4 渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量の関係 (全時間帯・無降雨)¹⁾

行研究において52箇所のボトルネックを対象に交通容量を算出し、同様の比較を試みた結果である。全時間帯かつ無降雨日を対象としたところ、渋滞発生後捌け交通量は渋滞発生時交通量の0.78~0.98倍、中央値は0.87倍であった。

(2) 車線数

岡村らは⁹⁾渋滞発生時交通量の比率が片側1車線：片側2車線：片側3車線=0.4：1.0：1.7、渋滞発生後捌け交通量が0.3：1.0：1.7であるとし、交通容量に及ぼす影響は車線数倍以上であることを明らかにした。吉川ら^{10~12)}は片側1車線区間（暫定2車線区間）と片側2車線区間の交通容量を比較し、1車線区間は2車線区間の0.34~0.37倍であるとしている。

図-5は前述の52箇所のボトルネックうち都市高速道路の要素が強く平日に渋滞が多く発生する京葉道路、東名の名古屋地区、近畿道のボトルネックを対象外とした交通容量である。片側3車線区間の渋滞発生時交通量の平均は4,978台/時であり片側2車線区間3,191台/時の1.56倍、渋滞発生後捌け交通量は片側3車線区間が4,267台/時であり片側2車線区間2,786台/時の1.53倍となっている。岡村らが示した1.7よりやや低いのは、その他の様々な要因が影響しているためと考えられ、おおよそ交通容量に及ぼす影響は車線数倍以上であることは間違いなさそうである。

(3) 道路幾何構造

岡村らは⁹⁾側方余裕（左側路肩幅員）が0.3~2.5mの範囲にあれば渋滞発生時交通量に与える影響は少ないと考察している。

吉川ら¹²⁾は片側1車線区間、米川ら^{13, 14)}は片側2車線区間、XINGら¹⁵⁾は片側2車線区間と3車線区間を対象に交通容量推定モデルを構築している。米川らの研究は渋滞発生後捌け交通量のみを対象としている。いずれのモデルもサグの縦断勾配や縦断勾配差、縦断勾配長等の変数が導入されており、縦断勾配が交通容量に影響を与えている。また、吉川ら¹²⁾やXINGら¹⁵⁾が構築したモデルではトンネルダミー変数があり、トンネルの交通容量がサグに比べて低いことを表現している。トンネルの圧迫感や、明暗の影響であると考えられている。なお、明暗の影響については（4）気象条件で後述する。

(4) 気象条件

降雨時は無降雨時に比べて交通容量が低下することが経験的に知られている。そのため、交通容量を分析するにあたっては、降雨時のデータを対象外にすることが行われる。また、降雨時の交通容量データが少ないため、降雨が交通容量に与える影響を把握することを困難にし

ている。図-6は前述の52箇所のボトルネックのうち、無降雨時、降雨時とも交通容量データが3サンプル以上あったボトルネックを対象に、無降雨時と降雨時の交通容量を比較した結果である。降雨時は渋滞発生時交通量、渋滞発生後捌け交通量とも、無降雨時より7~8%低く、降雨時の交通容量が無降雨時より高いボトルネックはほとんどみられない。降雨は交通容量を低下させる要因の1つといえる。

越ら^{3, 5)}は明暗が交通容量に影響を与えることを指摘し、明るさの絶対値が高いほど車間距離や相対速度が認識しやすいためと考察している。また、前述の米川ら^{13, 14)}のモデルでは太陽光有無を変数に導入し、太陽光がない場合に渋滞発生後捌け交通量が低下することを表現している。図-7（次頁）は、昼と薄暮、昼と夜の交通容量を比較した結果である。薄暮は昼に対して1~2%、夜は昼に対して7~8%交通容量が低い。明暗は交通容量に影響を与えらる。

(5) 交通条件

前述の米川ら^{13, 14)}のモデルでは大型車混入率が高いほど、トリップ長が長いほど渋滞発生後捌け交通量が低くなることを表現している。

岡村ら⁹⁾は休日に比べて平日の方が交通容量が高いことを実証し、運転者特性の違いであることを考察している。前述の52箇所のボトルネックを対象として曜日別に交通容量を比較した結果を図-8（次頁）に示す。休日は平日に比べて交通容量が2~3%低いことが確認できる。

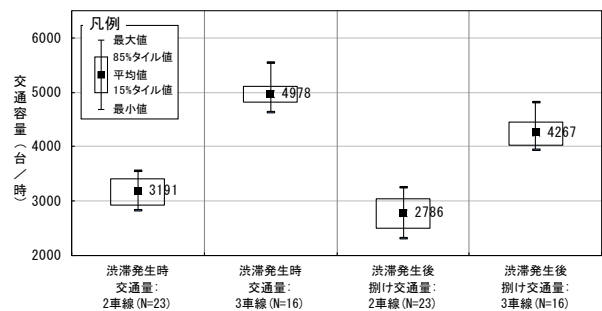


図-5 交通容量算出結果（全時間帯・無降雨）¹⁾

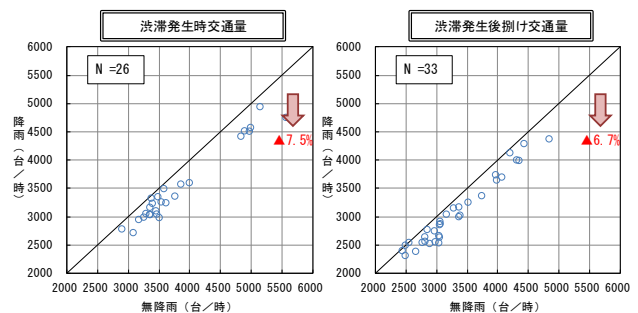
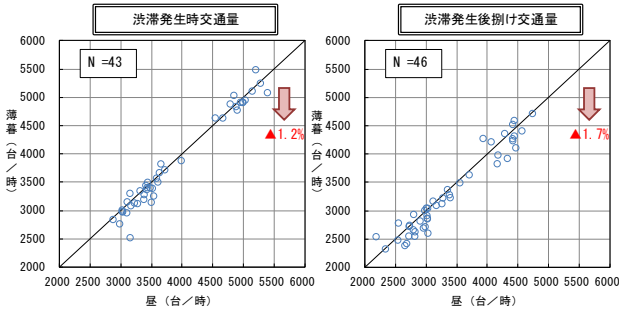


図-6 無降雨・降雨別の交通容量比較結果（全時間帯）¹⁾

《昼と薄暮の比較》



《昼と夜の比較》

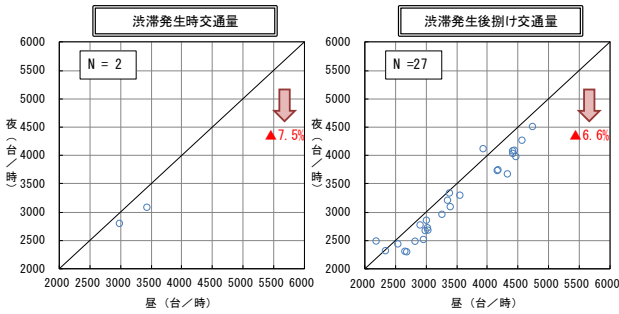


図-7 明暗別の交通容量比較結果（無降雨）¹⁾

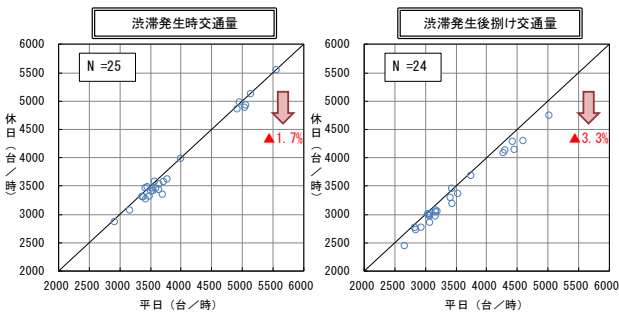


図-8 曜日別の交通容量比較結果（全時間帯・無降雨）¹⁾

越ら⁵⁾は渋滞巻き込まれ時間が長くなると、渋滞発生後捌け交通量が低下することを実証した。中谷ら¹⁶⁾や竹内ら¹⁷⁾は渋滞巻き込まれ時間が30分未満の場合は巻き込まれ時間が大きくなるほど渋滞発生後捌け交通量が低下し、それ以降は一定になることを明らかにした（図-9）。渋滞巻き込まれ時間が長くなると、前車に真剣に追従する意欲を失い、車間距離を大きく開けて走行するためと考察している。

(6) 都市間高速道路と都市高速道路の比較

図-10は、筆者ら¹⁸⁾の先行研究において、都市間高速道路と都市高速道路の交通容量について、無降雨時を対象に、渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量に区分して整理した結果である。単路部の渋滞を対象としている。図中のサンプル数は分析対象としたボトルネック数と一致し、1サンプルを構成する値は各ボトルネックで日々観測された交通容量の平均値である。都市間高速道路は、都市近郊で平日に渋滞が発生するボトルネックの

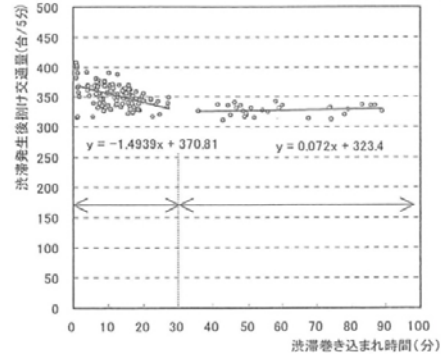


図-9 渋滞巻き込まれ時間と渋滞発生後捌け交通量の関係¹⁶⁾

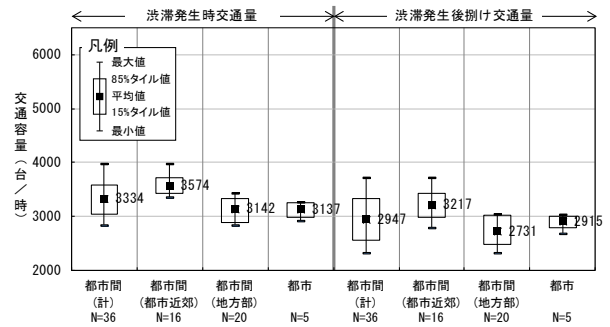


図-10 交通容量（無降雨・全時間帯）¹⁸⁾

交通容量が高いことから、「都市近郊」と「地方部」に区分している。

渋滞発生時交通量をみると、都市間高速道路（都市近郊）が最も高く、都市間高速道路（地方部）と都市高速道路が同程度である。一方、渋滞発生後捌け交通量は、都市間高速道路（都市近郊）が最も高く、次いで都市高速道路、都市間高速道路（地方部）である。

4. 渋滞発生確率

道路線形が変化しない同一の地点であっても、気象条件や交通条件の違いによって交通容量は変化する。また、これらが一定条件であっても、交通容量は日々変化する。そのため、高速道路においては、渋滞発生確率が議論されるようになった。

大口ら¹⁹⁾は交通流率階層別を実現するその交通流率の頻度（交通渋滞状態を除く）と、その交通流率の需要により渋滞が発生する頻度より渋滞発生割合を求め、高い交通流率でも渋滞が発生しないことを示した。XINGら²⁰⁾はある交通量レベルの需要がボトルネックに到達しても渋滞する時としない時があることに着目し、渋滞の発生を確率的に表現する必要を説いている。

最尤推定法で渋滞発生確率を求める場合、分布形状を仮定しパラメータを得る。Brilon et al.²¹⁾は、正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布の中で、ワイブル分布が最もあ

てはまりがよいとしている。また、実務で比較利用されているのはワイブル分布である。

ワイブル分布は式 (1) で表現され、図-11の例に示すような形状となる。αは形状パラメータでありその値が大きいほど分布の広がり小さくなる。βはスケールパラメータであり値が大きいほど分布が右にシフトする。

パラメータを推計するにあたっては、交通量ランクの出現頻度と渋滞発生時交通量より算出される渋滞発生割合を用いる。これらは、渋滞発生時交通量にあわせて15分単位で集計される。前述の通り、渋滞発生時交通量を15分間フローレートとした理由は、実用的な交通容量としてばらつきが小さいということであるものの、渋滞発生確率でばらつきを考慮しているという矛盾が生じている。渋滞発生時交通量の判読時間について、今一度検討することが必要であると考える。

$$F(q) = 1 - e^{-\left[\frac{q}{\beta}\right]^\alpha} \quad (1)$$

- ここで、 $F(q)$: 渋滞発生確率
- α : 形状パラメータ
- β : スケールパラメータ
- q : 交通量

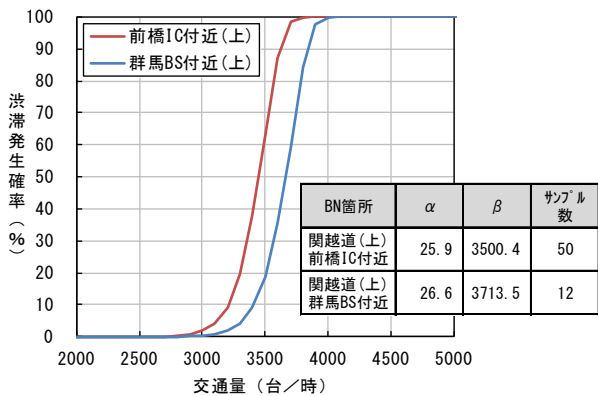


図-11 関越道(上)の渋滞発生確率分布¹⁾

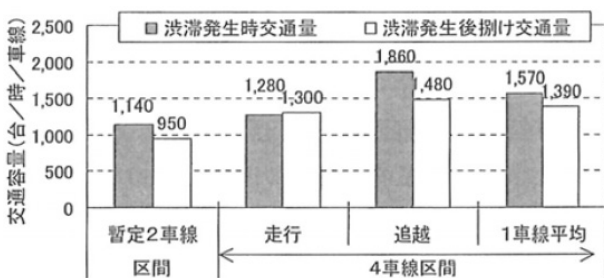


図-12 暫定2車線区間と4車線区間の交通容量¹²⁾

5. 問題提起

ここまで、高速道路における交通容量の定義と計測方法、その変動要因を整理した。高速道路においては、渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量があり、一度渋滞すると、渋滞発生時交通量に対して渋滞発生後捌け交通量が低下することが明らかとなっている。そのため、いかに渋滞を発生させないかが重要である。また、交通容量は気象条件や交通条件等様々な要因によって変動することがわかっているものの、これらが一定条件であっても、属性の異なる個々のドライバーの挙動の集積によって実現する交通容量は、日々変動する。

交通容量は、計画や運用時に道路管理者が把握しておくべき重要なものである。しかし、高速道路では推定式を構築している研究^{12)~15)}があるものの、基本的には観測値が必要で、また観測しても日々の変動が大きく一意の値を得ることが困難であるといった具合である。一方、鉄道や航空などの道路以外の交通モードでは、複数の移動体を監視・監督し、その操縦者に指令を与える管制や、さらには自動化技術により移動体同士やインフラとの関係をシステムとして制御すること(オペレーション)を前提として、交通容量が与えられると思われる。そこで、高速道路においても、オペレーションを前提とした交通容量をどう考えるべきかについて、現状と将来のオートクルーズ時代に区分し、問題提起してみたい。

(1) 現状

鉄道や航空の交通容量は、安全が確保できる車頭時間(航空機間隔)をもとに考えていると認識している。具体的に、鉄道であれば列車の駅への入線を、航空であれば航空機の離陸や着陸の間隔を、安全が確保できる車頭時間(航空機間隔)でオペレーションしている。そこで、安全に則した考え方に基いて交通容量を考える。

「交通の方法に関する教則」には、車間距離について、100km/hで100m、80km/hで80mを確保する旨が記載されている。この「100km/hで100m」は車間時間にして3.6秒であり、車長分の0.2秒(乗用車の車長5m、走行速度100km/hとすると0.18秒)を考慮すると、車頭時間は3.8秒で、交通容量にして約950台/時/車線となる。吉川ら¹²⁾によって整理された車線ごとの渋滞発生時交通量よりも低く、これが遵守されると今よりも渋滞が多く発生することになる(次頁図-12)。

一方、海外で実施されており、埼玉県警も広報している2秒ルール(車間時間が2.0秒で、前述の車長を考慮すると車頭時間は2.2秒となる)は、追従走行時の安全車間距離を示している。これを前提とした場合、交通容量は1,650台/時/車線であり、片側2車線道路で3,300台/時、片側3車線道路で4,950台/時で、実態と大きな乖離はない。

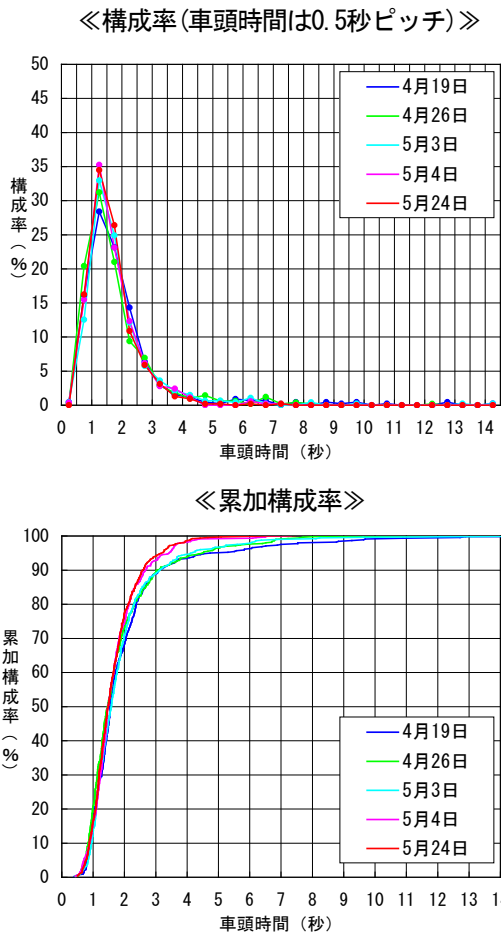


図-13 渋滞発生前15分間の車頭時間構成率
(関越道(上) 嵐山小川IC~花園ICの追越車線)¹³⁾

そのため、現状ではこれを実現する施策やオペレーションを考えていくことが安全性の側面からも、円滑性の側面からもよいのではないかと考える。図-13²²⁾に示すとおり、実際は車頭時間2.0秒未満の車両が多く安全上問題がある。一方、渋滞発生直前の車線利用率は、追越車線に偏り、走行車線が低いことが知られており、この状況で車頭時間2.2秒(車間時間2.0秒)を厳守すると交通容量が低下する。

高速道路サグ部等交通円滑化研究会²³⁾が整理した「高速道路サグ部等の渋滞箇所への効果的な交通円滑化対策の実現に向けて」中間とりまとめでは、サグ部等における渋滞発生の主な要因は、1) 追越車線への車線利用の偏り(車線間の不均衡)、2) ドライバにより異なる希望速度・車間に起因する車間のばらつき(同一車線内の不均衡)、3) 勾配変化等に起因する車間の極端な増大・減少であり、渋滞発生前における渋滞緩和につながる交通円滑化に資する走行(交通円滑化走行)は、1) キープレフトを遵守(走行車線を利用)する、2) ドライバによらず、適正な車間を維持し、縦断勾配変化区間等のボトルネック部においても、車間が必要以上に増大・減少しない、としている。これにより、断面の交通

容量拡大と、交通容量の安定化を期待するものである。筆者らもこれを支持するものであり、キープレフト、車線毎の走行特性の均質化、車間時間2.0秒をセットで考えることが重要であると考えます。

具体的に、同中間とりまとめ²³⁾では、道路インフラと自動車技術の連携が必要であり、道路インフラ(路側センサー、ITSスポット、可変情報板)の活用と、自動車技術(車両制御システム)の活用をイメージしている。路側の情報板やETC2.0対応のカーナビでの情報提供、適切な個人に対して適切な場所・タイミングでピンポイントで情報提供できるシステムの検討などが考えられる。

(2) 将来

ACC (Adaptive Cruise Control) は、追従走行において、前方を走行する車両を検知し、加減速を自動で制御し車両間隔を適切に保持しようとする機能のことである。その規格はJISに定められており、最小車間時間は0.8秒以上とすること、1.5~2.2秒までの範囲内の車間時間を最低限1つ設定できなければならないことが示されている。車間時間0.8秒を前提とし、前述の車長分0.2秒を考慮すると、車頭時間は1.0秒となり、交通容量3,600台/時/車線が実現する。これは、全車オートクルーズ時代の交通容量であるが、理論的に実現可能な最大値であって、設計上はこれから余裕をみることになる。具体的に、実設計においては、制御遅れによる擾乱を吸収できるだけの余裕は必要である。

ただし、少なくともドライバーに起因する個人差の影響や、人間の制御性能、特に過渡応答性能の悪さのせいで、本来安定的に実現可能な容量よりも大きく低下している現象を、システム設計として回避できるようになることは極めて重要である。道路が供用して車両が通過しないと、もう少し言及すると渋滞が発生してみないと交通容量を把握することができなかったという現状から、事前に把握できるようになるということで、道路計画や交通設計の考え方や方法が変わる可能性を示している。

今後は、上記の通り実設計上の交通容量を検討することが必要となる。また、全車がオートクルーズになると、鉄道や航空でのオペレーション方法が大いに参考になると考えられる。例えば、分合流部の考え方や万が一遅れが発生した場合の対応方法などである。これらを事前に知っておき、道路計画や交通設計、交通運用に反映していくことが重要である。

参考文献

- 1) 石田貴志, Jian XING: 都市間高速道路における交通容量の現状と課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 2013.
- 2) (社)日本道路協会: 道路の交通容量, 丸善, 1984.
- 3) 越 正毅: 高速道路トンネルの交通現象, 国際交通安全

- 学会誌, Vol.10, No.1, pp.32-38, 1984.
- 4) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, Vol.371/IV-5, pp.1-7, 1986.
 - 5) 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, Vol.458/IV-18, pp.65-71, 1993.
 - 6) 日本道路公団: 都市間高速道路の交通容量マニュアル (平成 11 年版) 作成業務報告書, 日本道路公団技術部, 2000.
 - 7) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究 (上), 高速道路と自動車, Vol.44, No.2, pp.31-38, 2001.
 - 8) 社) 交通工学研究会: 平成 7 年度~平成 10 年度 高速道路の交通容量に関する調査検討報告書(日本道路公団委託), (社) 交通工学研究会, 1999.
 - 9) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究 (下), 高速道路と自動車, Vol.44, No.3, pp.30-40, 2001.
 - 10) 吉川良一, 長浜和実, 寒河江克彦: 東海北陸自動車道における暫定 2 車線区間の交通容量に関する検討, 第 24 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.89-92, 2004.
 - 11) 吉川良一, 長浜和実, Jian XING, 吉井稔雄, 北村隆一: 高速道路暫定 2 車線区間におけるボトルネック交通容量に関する考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, pp.839-846, 2005.
 - 12) 吉川良一, 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一: 暫定 2 車線高速道路のボトルネック交通容量に関する研究, 交通工学, Vol.43, No.5, pp.48-58, 2008.
 - 13) 米川英雄, 飯田克弘, 森康男: 高速道路の渋滞中交通容量に影響を及ぼす要因の車線相違に関する研究, 交通工学, Vol.36, No.2, pp.53-63, 2001.
 - 14) 米川英雄, 飯田克弘, 森康男: 高速道路における渋滞中交通容量の算定式構築に関する実証的研究, 高速道路と自動車, Vol.44, No.8, pp.25-30, 2001.
 - 15) Jian XING, 宇佐見純二, 福島賢一, 佐藤久長: 潜在的ボトルネック交通容量の推定及び交通容量の確率分布を用いた年間の渋滞予測検討, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.5, pp.973-980, 2010.
 - 16) 中谷了, 皆方忠雄, 佐藤久長, 市川昌: 渋滞巻き込まれ時間を考慮した LED 標識による速度回復情報提供の効果検証, 第 25 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.173-176, 2005.
 - 17) 竹内利夫, 佐藤久長, 皆方忠雄: 高速道路渋滞対策の最前線—サグ部の速度低下による渋滞の緩和を目指して—, 土木学会誌, Vol.91, No.5, pp.60-63, 2006.
 - 18) 石田貴志, 松下雅行, 割田博, Jian XING, 野中康弘: 都市間高速道路と都市高速道路の交通容量に関する比較考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 2015.
 - 19) 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則: 高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究, 高速道路と自動車, Vol.44, No.12, pp.27-34, 2001.
 - 20) Jian XING, 佐藤久長, 高橋秀喜, 吉川良一: 高速道路のボトルネック交通容量分布及び渋滞発生確率の推定, 第 26 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.49-52, 2006.
 - 21) Brilon, W., Geistefeldt, J. and Regler, M.: Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 2005.
 - 22) Jian XING, 鶴元史, 石田貴志, 松村栄嗣: 車両感知器パルスデータを用いた渋滞発生時交通現象分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, 2010.
 - 23) 高速道路サグ部等交通円滑化研究会: 「高速道路サグ部等の渋滞箇所への効果的な交通円滑化対策の実現に向けて」中間とりまとめ, 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室 HP, 2015.

A DISCUSSION ON THE TRAFFIC CAPACITY OF EXPRESSWAYS

Takashi ISHIDA, Yasuhiro NONAKA and Takashi OGUCHI