

Moving Bottleneck 及び Elephant Race に着目した

高速道路の損失時間推定手法に関する研究

社会基盤学専攻
土木計画研究

MH23001 青島 悠真
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

高速道路の時間損失は、その大半が過飽和状態で発生していることは自明である。しかし全体の走行台キロは非飽和・近飽和状態の方が圧倒的に大きいことを勘案すれば、非飽和・近飽和状態における時間損失も無視し得ない可能性がある。すなわち、これまでは図-1に示すように赤枠の部分を対象に計測されてきたが、青枠の部分の同じ交通量レベルにおける速度差について、これを時間損失として捉えられるのではないかと考える。

本研究では、片側2車線の高速道路を対象として、低速走行する車両によって疑似的な車線規制状況が形成されるMoving Bottleneck (以降「MB」と称す)と、これと相まって疑似的な車線閉塞状態となるElephant Race (以降「ER」と称す)に着目し、非飽和状態における損失時間推定について、待ち行列理論からアプローチする方法論を検討する。

2. 既往研究レビューと本研究の位置づけ

MB および ER に着目した高速道路の交通状態評価に関する主な既往研究の系譜を図-2に示す。MB に着目した交通現象解析は、D.C.Gazis・R.Hermanによって初めて問題提起され、高速道路において他車に比して著しく走行速度の低い車両が1車線を占有することで当該車両上流に車列が形成された場合、当該車両が停止している状態と類似した交通状態になると提唱した。

これ以降のMBとERの既往研究は、概ねKinematic Wave (以降「KW」と称す)理論からアプローチしたものであり、Fundamental Diagram (以降「FD」と称す)を前提とすることで交通容量や渋滞現象の面から理論体系を研究しており、個々の車両の速度差からの視点が欠如している。このことは、C.F.Daganzo・J.A.Lavalが「これらのモデルを使用してMBの任意の組合せがKW理論上の交通流に与える影響を予測することができるが、これらのモデルを離散化する効率的な方法はまだ知られていない。」との記述に確認できる。

よって、本研究では既往研究とは異なるアプローチとして、待ち行列理論を活用することで非飽和・近飽和状態における時間損失の計測を試みる。

3. 損失時間計測方法の検討

(1) 検討方針と検討条件

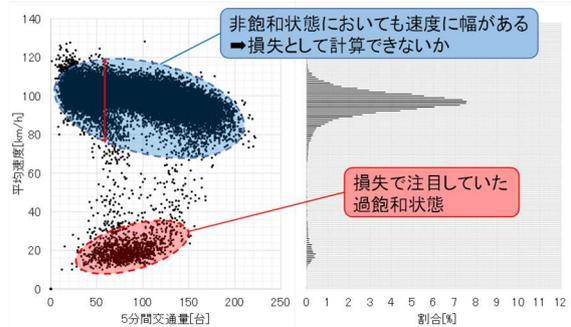


図-1 QV図と出現頻度から見た速度低下の影響

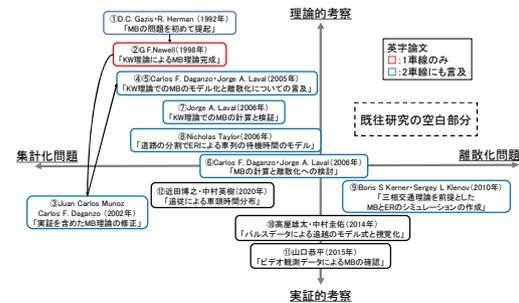


図-2 MBとERに関する主な既往研究の系譜

本研究では時間交通量 n [台/時]の時の交通流より損失時間を算出するため、以下の条件を前提とする。

- ・ 1時間分の交通流を計測対象とする。
- ・ 各車両速度は前方の影響を受けない限り希望速度を維持して走行すると仮定する。
- ・ 追い越し時の加減速度や距離は一定とする。

計算方針として、まず交通量 n で起きうる車順のパターンは $n!$ 通り存在するが、その中の一例より、これを車列 k ($0 \leq k \leq n!$)とする。その中で各車両に着目し(着目車両 i と定義)、最後に全車順の発生確率より求めた期待値を損失時間の結果とする。

その上で、単路片側2車線道路の全車両の追い越しが完了するまでを検討し、計測区間長内で追い越される車両数を確認する。これは最終的に走行車両の順序が速度の最も早い車両を先頭に速度順に並ぶためであり、数値実験の検討では始めの部分を切り取って計測する。これによって必要な距離分の時間損失を算出する。

(2) 損失時間計測式の検討

待ち行列理論の基本式を式(1)に示す。

$$W = \frac{\rho}{1-\rho} \times \frac{1}{\mu} \quad (\text{ただし } \rho = \frac{\lambda}{\mu}) \quad (1)$$

ここに、 W は平均待ち時間[秒]、 ρ は1車線区間の利用率、 λ は到着間隔[台/秒]、 μ は1車線での処理能力[台/秒]である。

平均待ち時間の算定は式(1)を基本とするが、着目車両より相対的に高速な車両を対象として計測する。さらに、着目車両 i ($1 \leq i \leq n$)の後方に存在する速度 v_j ($v_i < v_j$)の車両台数を P_i とする。全車両を追い越した場合、 i により1車線に規制された時の追越車線利用率 ρ_{i_full} は式(2)となる。

$$\rho_{i_full} = \frac{P_i}{3600} \times \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

ここに、 P_i は着目車両 i での計測対象台数[台]、 ρ_{i_full} は i による1車線区間の利用率である。

式(1)と式(2)から、全車両を考慮した平均待ち時間は式(3)、総待ち時間は式(4)となる。

$$W_{k_Full}^{MBS} = \sum_{i=1}^n W_{i_Full}^{MBS} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_{i_Full}}{1-\rho_{i_Full}} \times \frac{1}{\mu} \right) \quad (3)$$

$$T_{k_Full}^{MBS} = \sum_{i=1}^n (W_{MBSi} \times P_i) \quad (4)$$

ここに、 $W_{k_Full}^{MBS}$ は n [台/時]分の $n!$ 通り存在する車列のうちの1例である車列 k の合計待ち時間[秒]、 $W_{i_Full}^{MBS}$ は i 台目による車列の平均待ち時間[秒]、 $T_{k_Full}^{MBS}$ は車列 k での総待ち時間[台・秒]である。

次に、区間長内に実際に追い越される車両数を反映する必要がある、その結果が式(5)である。

$$T_k^{MBS} = T_{k_Full}^{MBS} \times \frac{p_i^{act}}{P_i} \quad (5)$$

ここに、 T_k^{MBS} は車順 k での全体総待ち時間[台・秒/時]、 p_i^{act} は計測区間長内で実際に追い越す車両数[台]である。

最後に車両の順序を考慮する。この車順は全車順の内の一つであり、確率変数は全車順で平等に発生しうると仮定すると、車順のパターン数は先述の通り $n!$ 通りとなるため、式(6)の通りとなる。

$$T^{MBS} = \frac{1}{n!} \sum_{k=1}^{n!} T_k^{MBS} \quad (6)$$

ここに、 T^{MBS} は交通量 n [台/時]全体での待ち時間[台・秒/時]であり、算出する時間損失となる。

4. 数値実験による検討結果

前章の算出手法の数値実験について、希望速度を乱数としたモンテカルロ・シミュレーションを実施する。計測区間長を一般的なIC間距離の10kmと設定し、平均80km/h、標準偏差10km/hの正規分布の車両群を設定する。また、追い越し時の交通容量(処理能力に相当)は1車線分の1,200台/時と仮定する。

検討ケースは、一般的状況(図中の基本に該当)に加えて2種類の政策変数を導入する場合の状況

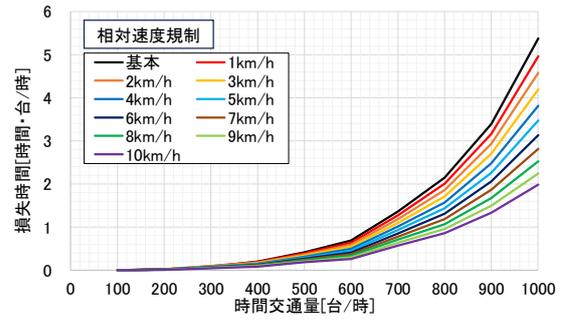


図-3 相対速度にて追越規制した場合の損失時間変化

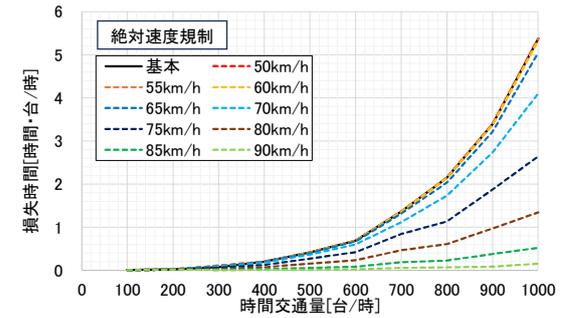


図-4 絶対速度にて追越規制した場合の損失時間変化

を対象とする。第1に追越・被追越車両の相対速度が特定の値以下の時に追越禁止とするケースとし、相対速度を1~10km/h間で1km/h刻みで変化させた時の比較結果を図-3に示す。第2に追越車両の絶対速度がある速度以下の時に追越禁止とするケースとし、絶対速度を50~90km/h間で5km/h刻みで変化させた時の比較結果を図-4に示す。

検討の結果、交通容量を下回る交通状態でも一定量の時間損失が発生することがわかる。また、追越規制の政策を導入することで、時間損失を抑制できる可能性があることがわかる。ただし、追い越しを規制される対象の車両は同時に速度低下を余儀なくされており、その損失量を反映できていないことが課題として残される。

5. おわりに

本研究では待ち行列理論を活用することで、高速道路の非飽和状態における損失時間の政策変数の導入による損失量の変化を確認した。その結果、交通容量以下での時間損失の変化と追越制限による効果を確認することができた。

一方で、計測式に関して車両挙動に一部制限を課していることから、追い越し状況を詳細に反映させるための複数の変数を新たに導入する必要があると考えられる。また、これらの計測方法の改善も含めて、実地検証を行っていくことが必要であるとする。

謝辞

多大なるご指導を頂いた株式会社道路計画の野中康弘客員教授に厚くお礼申し上げます。