

勾配影響に対する追加型自動加速制御による渋滞回避システムに関する研究

畔柳 英健

指導教員：井手口 哲夫

1. はじめに

日本の高速道路では、上り坂およびサグ部の渋滞が最も多く発生しており、問題の解決が重要な課題となっている。

サグ部とは、道路勾配が上り方向へと変化する区間をいう。道路の勾配が緩やかに変化するため、ドライバーは勾配変化に気付かずに自然と速度を落としやすく、減速波が後続に波及していく形で渋滞が発生する。

これに対して、車両に取り付けられているレーダーなどにより前方車との車間距離や相対速度などの情報を取得し、それに応じて加速度を自動制御する ACC などによる対策が推進されている。しかし、ACC はドライバーの加速制御を必要としない自動制御となるので、例外的な状況に対して人間のように柔軟に対応することができない。また、使用中のドライバーの覚醒度の低下が指摘されており、実際にこれを使用中の居眠り運転による死亡事故も発生している。

そこで本研究では、ドライバーの加速制御にシステムによる加速制御を追加する、追加型自動加速制御方式を用いた渋滞回避システムを提案し、その実用性をシミュレーション実験により評価する。

2. 提案手法・提案システム

2.1. 追加型自動加速制御方式

本研究で提案する追加型自動加速制御方式は、ドライバーの加速制御により決定される加速度と追加型自動加速制御により決定される加速度をそれぞれ a_d 、 a_s とすると、車両の加速度 a_c は以下の単純な式で表される。

$$a_c = a_d + a_s \quad (1)$$

基本的に $|a_s|$ は $|a_d|$ と比べ小さい値とする。

2.2. 渋滞回避システム

本研究で提案する渋滞回避システムの対象は高速道路におけるサグ部であり、前節の a_s を、勾配影響（勾配による負の加速度）を打ち消す（または緩和する）正の値とすることで、勾配影響に対するドライバーの認知に関わらず渋滞発生の原因となる速度低下を防ぎ、渋滞の発生を回避することを目的とする。なお、前提条件として、車両は地図データとして勾配の位置、勾配影響の大きさのデータを保持しているものとし、GPS により現在の車両の位置情報も取得できるものとする。

3. シミュレーション

3.1. シミュレーション概要

本研究での対象環境は勾配変化がある直線高速道路とする。車線数は 1 とし、対向車線も考慮しない。

シミュレーション概要図を図 1 に示す。

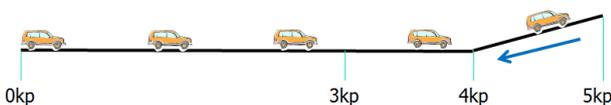


図 1 シミュレーション概要図

0kp（キロポスト：キロ地点）で車両が生起し、4kp から上り坂に差し掛かり、5kp で消滅する。この 4kp から 5kp を勾配影響区間とし、提案システムは勾配影響区間にいる車両に適用される。

3.2. システムモデル

本研究で提案する渋滞回避システムにおける追加型自動加速制御は以下の 3 つに分類できる。

表 1 勾配影響区間での 3 通りの追加型自動加速制御

CASE1	自動加速制御を行わない場合（従来の走行環境）
CASE2	勾配影響と同じ大きさの加速度を追加する場合
CASE3	勾配影響の大きさの一定割合（1 未満）の加速度を追加する場合

例えば勾配影響区間で -10 の加速度を受ける場合、CASE2 では 10 の加速度を追加し、CASE3 ではこの制御の割合を 0.5 とするならば 5 の加速度を追加する。ただし、車両がブレーキを踏んでいる間は加速度の追加は中断される。本研究では以上の 3 つを比較評価する。

3.3. ドライバモデル

本研究で使用する、車両の挙動（加速度）を決定するドライバモデルについて説明する。先頭車両には OV モデル^[1]、追従車両には GM モデル^[2]を採用した。なお、以降では、 t を時刻、 T を反応遅れ時間、 $x_n, \dot{x}_n, \ddot{x}_n$ をそれぞれ車両の位置、速度、加速度とし、 n については 0 を前方車両、1 を自車両としている。

OV モデル

OV モデルは、車間距離から求められる最適速度と実際の走行速度との差から加速度が決定されるモデルである。

OV モデルは以下の式で表される。

$$\dot{x}_1(t+T) = a_1[V\{\Delta x_1(t)\} - \dot{x}_1(t)] \quad (2)$$

ここで、 $V\{\Delta x_1(t)\}$ は最適速度関数と呼ばれ、車間距離から最適速度を計算するが、本研究では OV モデルを先頭車両のドライバモデルとして採用したため、これを単純に 80[km/h] とする。また、 a_1 は感度パラメータであり、最高加速度が 3.0[m/s²] となるように与えた。

GM モデル

GM モデルは追従挙動モデル（追従挙動を表すドライバモデル）の中で最もよく知られ幅広く利用されており、文献[3]においてサグ部の渋滞発生の原因である追従挙動を説明するモデルとして有望とされている。

GM モデルは以下の式で表される。

$$\ddot{x}_1(t+T) = a_2 \frac{\{\dot{x}_1(t)\}^m}{\{x_0(t) - x_1(t)\}^l} \{\dot{x}_0(t) - \dot{x}_1(t)\} \quad (3)$$

ここで、 a_2 は係数パラメータ、 l, m はべき乗パラメータである。これに T を合わせたパラメータセットは、文献[3]を参考に、全 30 セットのパラメータセットから、予備実験において事故が発生しなかった 10 セットのパラメータを使用した。なお、本研究では式中の車頭距離として与えられる部分を、車間距離として使用した。

3.4. 勾配影響モデルと認知確率

勾配影響区間での車両の加速度 a_c は、ドライバモデルによる加速度 a_d とその他パラメータを用いて以下の式で表される。

$$a_c = a_d - \beta(1 - \alpha)g' \quad (4)$$

ここに、 g' は勾配影響の大きさとし、一般的なサグ部の大きさである約 2%の勾配から受ける $0.2[m/s^2]$ としている。 α は提案システムにおける制御割合であり、0 から 1 までの値をとる。 β は勾配影響区間におけるドライバーの認知状態を表すパラメータであり、ドライバーが勾配を認知できていない場合は 1, 認知してから適応するまでは徐々に 0 に近づき、完全に適応できた場合 0 となる。

ドライバーは主に勾配変化及び速度低下などの視環境によってサグを認知するため、認知確率 $P[\%/100ms]$ を速度の低下に従い増大するように与えた。

車両速度と認知確率の関係を表したグラフを図2に示す。

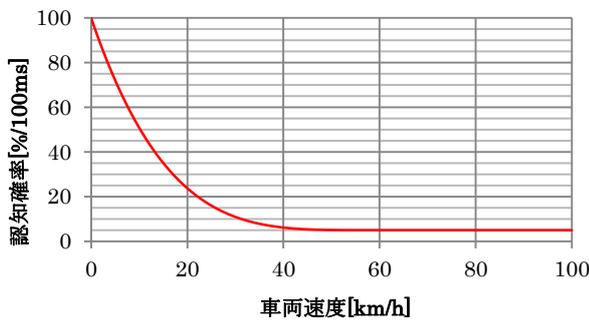


図 2 車両速度と認知確率の関係

3.5. 車両生起とシステム実装車普及率

0kp での車両生起は、前方車両との車間距離 45[m]以上、かつ前方車両の速度 50[km/h]以上の時に行われる。すなわち、渋滞が 0kp まで波及した場合、車両生起を一時中断する。生起した車両の速度は、先頭車両は 80[km/h]とし、追従車両は前方車両と同じ速度としている。

本研究では、提案システム実装車と非実装車の混在環境での結果も比較評価の対象とする。実装車と非実装車は車両生起時に、シミュレーション時に設定した普及率に従いランダムに決定する。

4. 結果と評価

制御割合と普及率の2つの値を変化させ、シミュレーション内時間 24 時間でそれぞれ 300 回のシミュレーションを行った。5kp での交通量(通過台数合計)の平均と、0kp から 5kp までを通過した車両の平均旅行時間の平均をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。

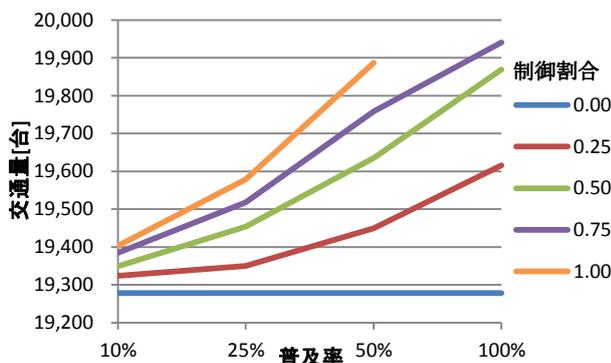


図 3 交通量平均

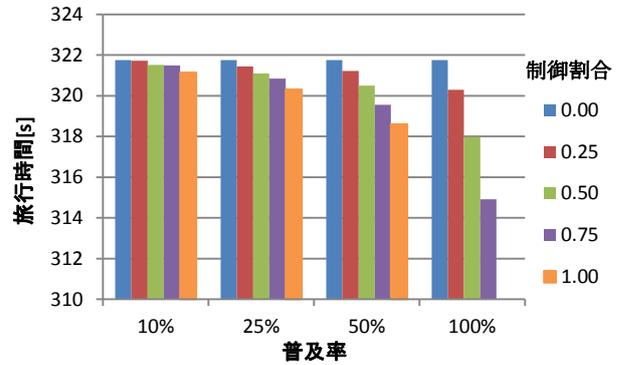


図 4 旅行時間平均

図からわかるように、制御割合、普及率が増大するにつれて、渋滞に対し交通流改善の効果が得られるのがわかる。しかし、その改善量は交通量では数百台、旅行時間では数秒と小さいものとなっている。

本シミュレーションでは、かなり過密な状態で車両を生起しているため、頻繁に渋滞のきっかけが発生し、あるきっかけを回避しても、回避しきれなかったきっかけから発生した渋滞に巻き込まれるといったことが発生することにより、大きな差は得られにくくなっている。また、0kp に渋滞が波及した場合、車両生起を中断し、車両は常に非渋滞状態で生起することから、旅行時間としては特に差が小さくなっている。

これほど過密ではない現実の道路環境においては、道路が長い場合に大きな効果が得られると期待できる。

図 5 と図 6 は、シミュレーションの 4kp での 5 分毎の車両密度[台/km] (グラフ横軸) と交通量[台/5 分] (グラフ縦軸) のグラフを示す。

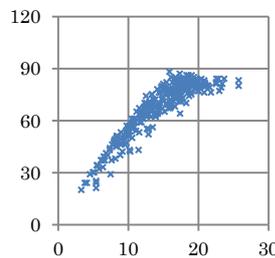


図 5 提案システムなし

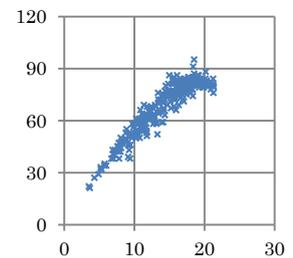


図 6 制御割合 0.5, 普及率 50%

図 5 と図 6 を比べると、密度の増加や交通量の減少などの提案システムの悪影響は確認できず、高密度状態の減少、図での傾きが表す平均速度の若干の向上など、交通流改善の効果が得られた。

以上より、提案する追加型自動加速制御による渋滞回避システムは高速道路における上り坂及びサグ部の渋滞に対して有効であるといえる。

参考文献

- [1] Bando, M, Hasebe, K, Nakayama, A, Shibata, A and Sugiyama, Y: Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation. Phys. Rev., E, Vol.51, No.2 pp.1035-1042(1995).
- [2] D. C. GAZIS, R. HERMAN and R. B. POTTS: Car-following theory of steady-state traffic flow. Oper. Res., Vol.7, pp.449-505, 1959.
- [3] 大口敬, 小沼良一, “勾配影響を考慮した追従挙動モデルの比較分析”, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.34, pp.171(2006-12).