

加減速度の制約条件と目標車間距離を考慮した追従モデルの解析

Analysis for car-following model considering Desired Gap Between Vehicles and Acceleration/Deceleration Limit

○高木勇樹<sup>1</sup>, 星野貴弘<sup>2</sup>

Yuki Takagi<sup>1</sup>, Takahiro Hoshino<sup>2</sup>

Abstract: The main factors in traffic concentration are the sag area. Proper following distance control is required in this area. This research deals with possibility of formation of platoon vehicles on the traffic bottleneck. In order to study formation of platoon vehicles, this paper shows traffic flow model considering desire gap between vehicles and its numerical example.

1. はじめに

自動車専用道路において発生している交通渋滞によって様々な観点から大きな損失が生まれている。交通渋滞の主な要因として、サグやトンネル付近などのボトルネック区間が挙げられる。このようなボトルネックでは、無意識のうちに加速または減速が起り、それが後続車両へと伝搬し、車間距離の維持がなされずに渋滞が発生している。この渋滞を緩和するために、Adaptive Cruise Control(ACC)を搭載している車両の積極的な活用が考えられる。先行研究<sup>[1]</sup>では、目標車間距離や目標速度などがシステムから与えられた車群を想定した交通流モデルを提案した。先行研究での数値解析の結果、提案した交通流モデルを用いて、与えられた目標車間距離で走行する車群が形成できることを確認した。しかし、条件によって、逆走や車両性能・安全性を無視した加減速をしてしまうなどの、現実とは乖離した挙動が確認された。

本研究では、上記のような問題を解決するために、先行研究の交通流モデルに対して、加減速度の制約と逆走を防ぐ処理を追加した交通流モデルを提案し、より現実的な挙動となるように改良を行った。本稿では、提案モデルに対するシミュレーション結果について述べる。

2. 交通流モデル

<2.1 Pipesの追従モデル> 交通流モデルは、マクロモデルとミクロモデルの2つに分けられる。マクロモデルは、交通事象を気体や液体の流れとして大域的に捉えるモデルである。それに対しミクロモデルは、個々の車両挙動を支配方程式で表現するモデルである。本研究では、ACC車両と一般車両が混在するという点を考慮するため、ミクロモデルを用いる。また本稿では、車群制御を想定し制御工学的アプローチが適用しやすいことから、構造が単純な追従モデルである以下のPipesのモデル<sup>[2]</sup>を用いた。

$$\dot{v}_k(t) = \frac{1}{T}(v_{k-1}(t) - v_k(t)); k = 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

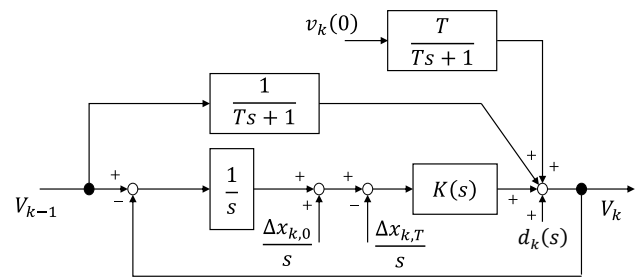


Fig.1 Block diagram of traffic flow model

(1)式における $k$ は、先頭車両から $k$ 番目の車両であることを表しており、 $v_k(t)$ は時点 $t$ における車両速度、 $\dot{v}_k(t)$ は加速度を表している。また、 $T$ は入力を $v_{k-1}$ 、出力を $v_k$ とした時の時定数であり、その逆数 $1/T$ は、車両感応度である。

<2.2 提案モデル> 本研究では、片道一車線道路における車両挙動を対象とし、道路への流入及び道路からの流出はないものとする。また、道路上の車両総数を $N$ とし、車両位置については $x_k(t)$ と表す。解析の簡単化のため、車長について0とすれば、車両番号 $(k-1)$ と $k$ の間の車間距離 $\Delta x_k(t)$ は、 $\Delta x_k(t) = x_{k-1}(t) - x_k(t)$ となる。システム内の車両はセンサにより車間距離 $\Delta x_k(t)$ を遅延なく取得できるものとする。本研究では、目標車間距離を新たに制御系の入力として加え、その制御可能性について検討を行う。目標車間距離を $\Delta x_{k,T}$ 、初期車間距離を $\Delta x_{k,0}$ とし速度偏差及び目標車間距離の偏差 $\{(V_{k-1}(s) - V_k(s))/s + (\Delta x_{k,0} - \Delta x_{k,T})/s\}$ を新たに(1)式のラプラス変換に追加し、対象モデルを

$$V_k(s) = \frac{1}{Ts+1}V_{k-1}(s) + \frac{T}{Ts+1}v_k(0) + d_k(s) + K(s)\left(\frac{V_{k-1}(s) - V_k(s)}{s} + \frac{\Delta x_{k,0} - \Delta x_{k,T}}{s}\right) \quad (2)$$

と表すものとした。ただし、(2)式の $d_k(s)$ は、外乱である。以下では、(2)式における制御器は、比例ゲイン $K_p$ とする比例制御器 $K(s) = K_p$ 、 $d_k(s) = 0$ とする。本研究で対象とする制御系のブロック線図は、Fig.1となる。

1 : 日大理工・院 [前]・電気 2 : 日大理工・教員・電気

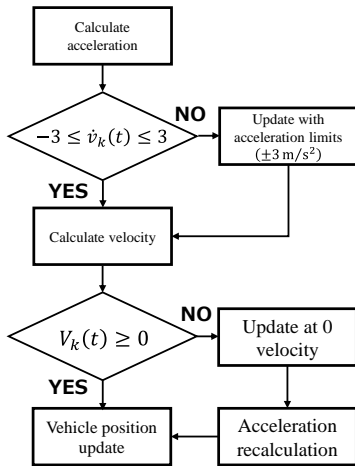


Fig.2 Flow chart with restriction

(2)式を逆ラプラス変換すると、加速度 $\dot{v}_k(t)$ は以下のよう  
に示される。

$$\dot{v}_k(t) = \frac{TK_p + 1}{T}(v_{k-1}(t) - v_k(t)) + \frac{K_p}{T} \int (v_{k-1}(t) - v_k(t))dt + \left(\frac{K_p}{T} + \delta(t)\right)(\Delta x_{k,0} - \Delta x_{k,T}) \quad (3)$$

また本研究での改良点として、Fig.2 のフローチャートに示すように、現実的な車両の挙動を再現するための制約条件を設けた。実際の搭乗者が危険と感じる加速度は、0.3G程度であるとされている<sup>[3]</sup>。よって車両の加減速度の上下限値を

$$9.8 \times (\pm 0.3) = \pm 2.94 \cong \pm 3.0 \text{ m/s}^2$$

とした。(3)式より加速度を求める際に、この値を超える場合は、この上下限値に更新する。以上により得られた値を用いて、車両の速度更新を下式に従い行った。

$$v_k(t + \Delta t) = v_k(t) + \Delta t \dot{v}_k(t) \quad (4)$$

この時に、車両が逆走を起こさないよう(4)式で得られる速度が負になった場合には、速度が0となるように、加速度を再計算させ、それに従い車両位置の更新を行った。

### 3. 数値計算例

< 3.1 計算条件 > 先頭車両の速度 $v_1(t)$ は初期値0m/sから最大値25m/sに達するまで加速度 $3\text{m/s}^2$ ずつ加速させる。時定数 $T = 2\text{s}$ とし、比例ゲイン $K_p = 3$ 、車両台数 $N = 5$ 、初期車間距離 $\Delta x_0 = 20\text{m}$ 、目標車間距離 $\Delta x_T = 10\text{m}$ とした。また、800~1000m地点にボトルネック区間を設定し、ボトルネック区間進入時、 $V_1 = 5\text{m/s}$ に到達するまで減速度の下限値( $-3.0 \text{ m/s}^2$ )で減速を行う。

< 3.2 計算結果 > Fig.3 に時空間図、Fig.4 に車間距離の時間変化を示す。Fig.3 より、各車両は先頭車両を追従走行していることが見て取れる。また、ボトルネック区間到達後の加減速の際にも、追い越し等は発生せず、追従走行していることがわかる。また、Fig.4 の点線内は、いずれかの車両がボトルネック区間に存在している時間帯を

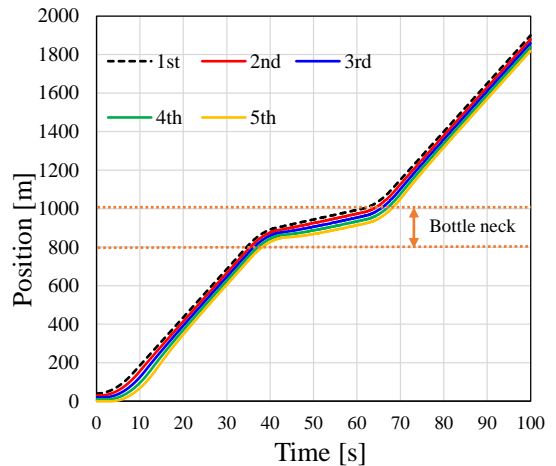


Fig.3 Numerical examples of time-moving distance diagram

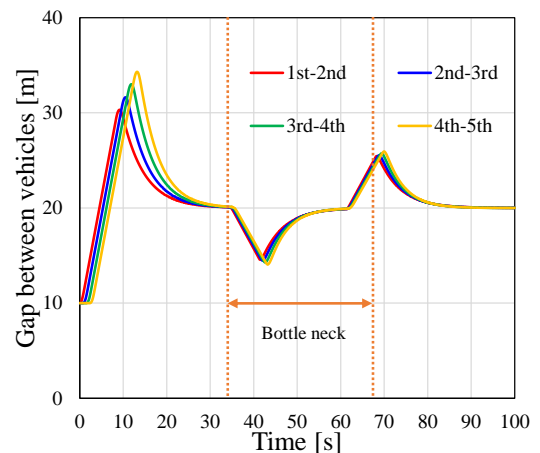


Fig.4 Numerical examples of time-gap diagram

表しており、この時間周辺では、車間距離に一時的に変動が見られるが、一定時間経過後には再び目標車間距離へ収束している。

### 4. まとめと今後の課題

本研究では、先行研究での問題点に対して、加減速度などに制約条件を加えたことで、現実の車両に則した挙動の再現ができた。制約条件を加えた場合でも、目標値へ収束しているが、後続車両ほどオーバーシュート等が大きくなるという改善点も見られた。今後は、車群に一般車両を混在させることや、オーバーシュート等の改善のため、ゲインを追加させた場合の解析などを行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] 星野：「車間制御機能を考慮した追従モデルを用いた車群形成に関する理論解析」, 電気学会研究会資料, ITS-22-001~015, pp.29-31 (2021)
- [2] L. A. Pipes : "An Operational Analysis of Traffic Dynamics", Journal of Applied Physics, Vol.24, No.3, pp.274-281 (1953)
- [3] 菊地, 岡田, 水野, 絹田, 中村, 萩原, 牧村 ; 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.68No.5 (土木計画学研究・論文集第29巻), I\_1193-I\_1204 (2012)